Edilson Antonio Catapan
Organizador

AVANÇOS DOS ESTUDOS CIENTÍFICOS NA ÁREA DAS CIÊNCIAS EXATAS

VOL. 01

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS
BRAZILIAN JOURNALS PUBLICAÇÕES DE PERIÓDICOS E EDITORA
2022

Edilson Antonio Catapan
(Organizador)

Avanços dos estudos científicos na área das ciências exatas

Vol. 01

Brazilian Journals Editora
2022

Editora Executiva: Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan
Diagramação: Aline Barboza Coelli
Edição de Arte: Brazilian Journals Editora
Revisão: Os Autores

Conselho Editorial:

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C357a Catapan, Edilson Antonio

Avanços dos estudos científicos na área das ciências exatas / Edilson Antonio Catapan. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2022.
331 p.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui: Bibliografia
ISBN: 978-65-81028-25-1.

1. Cinética. 2. Ciências. I. Catapan, Edilson Antonio II. Título

Brazilian Journals Editora
São José dos Pinhais – Paraná – Brasil
www.brazilianjournals.com.br
editora@brazilianjournals.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra intitulada “Avanços dos estudos científicos na área das ciências exatas vol.01”, publicada pela Brazilian Journals, apresenta um conjunto de vinte e um capítulos que visam abordar assuntos relacionados com a área das ciências exatas. A seguir são apresentados os trabalhos que compõem o livro.

Logo, os artigos apresentados neste volume abordam: O estudo da cinética de adsorção do carvão ativado impregnado com óxido de grafeno. O livro apresenta um trabalho de combinação de fatores de escalonamentos de deslocamentos químicos de RMN de 13C e 1H, baseados em regressões lineares) e de redes neurais para auxiliar a determinação estrutural da savinina, com o objetivo de utilizar cálculos teóricos dados experimentais para a resolução da estrutura deste composto. Também é discorrido um estudo para verificar a confiabilidade do miógrafo portátil de impedância elétrica (PEIM) Skulpt® para medidas morfológicas do músculo vasto lateral (VL). Outro estudo que será apresentado é, cálculos para análise de avarias em rolamentos, utilizando algoritmos de inteligência artificial. O livro também, traz um artigo que explica a utilização de radiação UVC para desinfecção do ar nos ambientes auxíliando na prevenção de contaminações pelo Sars-Cov2 com a desinfecção do ar pela utilização de UVC como ação germicida, entre outros.

Dessa forma, agradecemos a todos os autores por todo esforço e dedicação que contribuíram para a construção dessa obra, e esperamos que este livro possa colaborar para a discussão e entendimento de temas relevantes para a área das ciências exatas, orientando docentes, estudantes e pesquisadores à reflexão sobre os assuntos aqui apresentados.

Edilson Antonio Catapan

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01 12
ESTUDO DA CINÉTICA DE ADSORÇÃO DO CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COM ÓXIDO DE GRAFENO
Ana Paula de Oliveira Schmitz
Máira Vieira
Camila de Abreu Antoniolli
Wagner da Silveira
João Pedro do Prado
Laiza Bergamasco Beltran
Luís Fernando Cusioli
Rosângela Bergamasco
DOI: 10.35587/brj.ed.0001388

CAPÍTULO 02 24
CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF SUPPLIERS IN COMPETITIVE ENVIRONMENTS: A CASE STUDY IN BRAZILIAN COMPANIES
Luiz de Freitas Ayres
Maria Sameiro Carvalho
Paulo Sampaio
Antonio Henriques de Araújo Júnior
DOI: 10.35587/brj.ed.0001389

CAPÍTULO 03 46
A UTILIZAÇÃO DO MBT PARA LEVANTAMENTO DAS DIFICULDADES CONCEITUAIS EM MECÂNICA APRESENTADA POR ALUNOS DE GRADUAÇÃO DO CEUNES
Igor Donizete Nunes Bravo
Rodrigo Dias Pereira
DOI: 10.35587/brj.ed.0001390

CAPÍTULO 04 58
CÁLCULOS DE RMN DE 13C POR MEIO DAS ABORDAGENS GIAO, CSGT E IGAIM: FATORES DE ESCALONAMENTOS PARA TERPENOS
Geomar Souza Alves
Evani Ferreira Cardoso
Ana Clara Yakaba Pontes
Marcelo Ricardo Souza Siqueira
Laysa Pereira Furtado
Lorrany Kalliny Cardoso Queiroz
Gustavo Costa Pereira
Gustavo da Silva do Prado
Gunar Vingre da Silva Mota
Fabio Luiz Paranhos Costa
DOI: 10.35587/brj.ed.0001391

CAPÍTULO 05 69
COMBINAÇÃO DE FATORES DE ESCALONAMENTOS DE DESLOCAMENTOS QUÍMICOS DE RMN DE 13C E 1H (BASEADOS EM REGRESSÕES LINEARES) E

DE REDES NEURAIS PARA AUXILIAR A DETERMINAÇÃO ESTRUTURAL DA SAVININA
Evani Ferreira Cardoso
Roberto Carlos Campos Martins
Rodrigo de Souza Miranda
Fernanda Barbosa da Silva
Ana Clara Yakaba Pontes
Laysa Pereira Furtado
Lorrany Kalliny Cardoso Queiroz
Gustavo Costa Pereira
Gunar Vingre da Silva Mota
Fabio Luiz Paranhos Costa
DOI: 10.35587/brj.ed.0001392

CAPÍTULO 06 81
AVALIAÇÃO DE DIFERENTES POLISSACARÍDEOS COMO DEPRESSORES NA FLOTAÇÃO ANIÔNICA DIRETA DE MINÉRIO FOSFÁTICO ULTRAFINO
Amanda Aparecida Carneiro
Adriele Mércia Alves Santos
João Victor da Silva Alves
Michelly dos Santos Oliveira
Mario Guimarães Junior
DOI: 10.35587/brj.ed.0001393

CAPÍTULO 07 95
UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A IDEIA DE NÚMERO
Márcio Roberto Rocha Ribeiro
Fabrício Oliveira Silva
Paulo Roberto Bergamaschi
Rogério Azevedo Rocha
Hellena Christina Fernandes Apolinário
Élida Alves da Silva
DOI: 10.35587/brj.ed.0001394

CAPÍTULO 08 115
POTENCIAL CITOGENOTÓXICO DE BYRSONIMA CRASSIFOLIA (MURICI), MALPIGHIACEAE
Jonis Franklin Leite dos Santos
Ingridys Regina B. dos Santos
Denise Borkenhagen dos Santos
Ísis Caroline B. dos Santos
DOI: 10.35587/brj.ed.0001395

CAPÍTULO 09 129
RELIABILITY OF PORTABLE ELECTRICAL IMPEDANCE MYOGRAPH SKULPT® FOR MORPHOLOGICAL MEASURES OF VASTUS LATERALIS
Ewertton de Souza Bezerra
Fábio Juner Lanferdini
Morgana Lunardi
Rafael Luiz Sakugawa

Rômulo de Oliveira Sena
Fernando Diefenthaeler
DOI: 10.35587/brj.ed.0001396

CAPÍTULO 10 144
IMPLANTAÇÃO DE UM NOVO LAYOUT DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE MOTOCICLETAS ESTRUTURADO A PARTIR DA METODOLOGIA MASP E FERRAMENTAS LEAN MANUFACTURING
Edyones Barros de Oliveira
Rui Nelson Otoni Magno
Sil Franciley dos Santos Quaresma
Mariana Pereira Carneiro Barata
DOI: 10.35587/brj.ed.0001397

CAPÍTULO 11 167
MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO ENXUTA COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
Fábio Muniz Mazzoni
Andr´e da Silva Barc
DOI: 10.35587/brj.ed.0001398

CAPÍTULO 12 183
ANÁLISE DE AVARIAS EM ROLAMENTOS, UTILIZANDO ALGORITMOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
André da Silva Barcelos
Fábio Muniz Mazzoni
António João Marques Cardoso
DOI: 10.35587/brj.ed.0001399

CAPÍTULO 13 198
A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS AUDIOVISUAIS NOS CURSOS SUPERIORES EM ENGENHARIAS DE UMA IES PRIVADA: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA DO IMPACTO DA VIDEOAULA NO DESEMPENHO ACADÊMICO DOS ESTUDANTES
Muriel Batista de Oliveira
Luiz Claudio Tavares Silva
DOI: 10.35587/brj.ed.0001400

CAPÍTULO 14 224
UTILIZAÇÃO DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA NA SECAGEM DE AMOSTRAS DE BANANA
Anderson Arthur Rabello
Úrsula do Carmo Resende
Fátima de Cássia Oliveira Gomes
Ana Maria de Resende Machado
Euler Cunha Martins
Ícaro Veloso Soares
DOI: 10.35587/brj.ed.0001401

CAPÍTULO 15 238
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE AMOSTRAS DE REJEITO DE MINERAÇÃO DE BAUXITA E OURO
Helena Paula Nierwinski

Amanda Reus
Marcelo Heidemann
Edgar Odebrecht
Breno Salgado Barra
Daniel Hastenpflug
Yader Alfonso Guerrero Pérez
DOI: 10.35587/brj.ed.0001402

CAPÍTULO 16 255
INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE SOLUBILIZAÇÃO E ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA DUREZA DE UMA LIGA DE AL COM 5,5% DE CU PRODUZIDA VIA METALURGIA DO PÓ
Tarsila Tenório Luna da Silva
Cezar Henrique Gonzalez
Michelle Maria Perez Lott
Sandra Torres Zarzar
Oscar Olimpio de Araujo Filho
DOI: 10.35587/brj.ed.0001403

CAPÍTULO 17 269
GERENCIAMENTO DE RISCOS PARA MELHORIAS NO CONTROLE, SEGURANÇA E LICENCIAMENTO DE CENTRAIS NUCLEARES E INSTALAÇÕES RADIATIVAS: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE
Valéria Emiliana Alcântara e Alves
Amir Zacarias Mesquita
Ana Rosa Baliza Maia
Alexandre Melo de Oliveira
Diva Godoy
Youssef Morghi
Edson Pereira da Silva
Patrícia Albernaz Melo Ribeiro
DOI: 10.35587/brj.ed.0001404

CAPÍTULO 18 281
ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO DE EFLUENTE USANDO A CONCHA DO MEXILHÃO DOURADO (LIMNOPERNA FORTUNEI) COMO UM MATERIAL DE BAIXO CUSTO
Daniel Mantovani
Luís Fernando Cusioli
Gabriel Xavier Jorge
Grace Anne Vieira
Magalhães Ghiotto
Rosângela Bergamasco
Marcelo Fernandes Viera
Laiza Bergamasco Beltran
DOI: 10.35587/brj.ed.0001405

CAPÍTULO 19 294
DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO MATERIAL ADSORVENTE UTILIZANDO AS CASCAS DAS SEMENTES DE *Moringa oleifera* Lam. FUNCIONALIZADAS COM

CAPÍTULO 01

ESTUDO DA CINÉTICA DE ADSORÇÃO DO CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COMÓXIDO DE GRAFENO

Ana Paula de Oliveira Schmitz
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão Linha Santa Bárbara, s/nº, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil, CEP: 85.601-971
E-mail: anapoliveira@utfpr.edu.br

Máira Vieira
Graduanda em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão Linha Santa Bárbara, s/nº, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil, CEP: 85.601-971
E-mail: mairavduarte@gmail.com

Camila de Abreu Antoniolli
Graduanda em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão Linha Santa Bárbara, s/nº, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil, CEP: 85.601-971
E-mail: antoniollic@alunos.utfpr.edu.br

Wagner da Silveira
Mestrado em Ciências e Engenharia de materiais Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão
Linha Santa Bárbara, s/nº, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil, CEP: 85.601-971
E-mail: wagnersilveira@utfpr.edu.br

João Pedro do Prado
Graduando em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão Linha Santa Bárbara, s/nº, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil, CEP: 85.601-971
E-mail: joaoprado@alunos.utfpr.edu.br

Laiza Bergamasco Beltran
Mestranda no programa de Pós-graduação em Ciências de Alimentos Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil, CEP 87020-900
E-mail: laizabeltran@hotmail.com

Luís Fernando Cusioli
Doutorando no programa de pós-graduação em Engenharia Química Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil, CEP 87020-900
E-mail: luiscusioli@gmail.com

Rosângela Bergamasco
Doutorado em Engenharia Química Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá

Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil, CEP 87020-900
E-mail: ro.bergamasco@hotmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi a avaliação da cinética de adsorção do corante azul de metileno utilizando carvão ativado impregnado com óxido de grafeno. Realizou-se a síntese do óxido de grafeno pelo método Hummers usando o grafite de pilhas zinco-carbono exauridas e a impregnação do óxido de grafeno no carvão ativado por evaporação/calcinação. Foram realizados ensaios cinéticos de adsorção em batelada, compH inicial 5, concentração inicial de corante de 100 mg L-1, agitação constante, temperatura ambiente e amostragem de 5 à 360 min. Pela análise dos dados cinéticos, verificou-se tempo de equilíbrio para o carvão ativado e o carvão ativado impregnado com óxido de grafeno de 240 e 90 min, respectivamente. Reportam-se alterações nas etapas de transferência de massa em decorrência da impregnação do óxido de grafeno destacando-se ausência da difusão intrapartícula nos microporos e indicativo da etapa limitante para este adsorvente ser a difusão intrapartícula na superfície externa. As alterações no adsorvente, apesar de não aumentarem a eficiência global de adsorção do corante, conferiram maior velocidade ao processo. Estes resultados sugerem que o carvãoativado com óxido de grafeno apresenta potencial de emprego na remoção de corantes.

PALAVRAS-CHAVE: Grafite; Pilhas; Velocidade de adsorção.

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the kinetics adsorption of blue dye methyleneusing carbon activated impregnated with graphene oxide. Graphene oxide was synthesized from the modified Hummres using the graphite of depleted zinc-carbon batteries depleted and the impregnation of graphene oxide in activated carbon by evaporation/calcination. Kinetic batch adsorption tests were performed with initial pH 5,initial dye concentration of 100 mg L-1, constant agitation, room temperature and sampling from 5 to 360 min. By analyzing the kinetic data, it was verified the equilibrium time for activated carbon and activated carbon impregnated with graphene oxide of 240 and 90 min, respectively. Changes in the mass transfer stages are reported due to the impregnation of graphene oxide, highlighting the absence of intraparticle diffusion in themicropores and indicative of the limiting step for this adsorbent to be the intraparticle diffusion on the external surface. The changes in the adsorbent, despite not increasing theoverall efficiency of the dye adsorption, gave the process greater speed. These results suggest that activated carbon with graphene oxide has potential for use in the dyes removal.

KEYWORDS: Graphite; Batteries; Adsorption rate.

1. INTRODUÇÃO

A geração de poluentes orgânicos provenientes de processos industriais representa grande preocupação a preservação ambiental (DEBNATH *et al.,* 2015; ANDRONIC e DUTA, 2014). Muitas empresas possuem efluentes compostos de estruturas orgânicas complexas, como o caso dos corantes, os quais ao serem dispostos no ambiente aquático, podem afetar os processos fundamentais para manutenção de organismos vivos, causando prejuízos ao ecossistema aquático. Ademais, muitos corantes são tóxicos também aos seres humanos e potencialmente carcinogênicos (KORDOULI *et al.,* 2014; SAGGIORO *et al.*, 2015; BELTRAN *et al.,* 2020).

Desta maneira, sistemas de tratamento de efluentes devem ser aprimorados com o intuito de eliminar compostos recalcitrantes, cor e compostos orgânicos dissolvidos (KUNZ *et al.,* 2002), não suficientemente removidos por técnicas de tratamento convencionais. Assim, avaliam-se técnicas alternativas, que permitam satisfatória eficiência de remoção de poluentes mesmo em baixas concentrações, facilidade de implementação e que propiciem reduzidos custos de operação, como é o caso da adsorção. Um dos adsorventes amplamente empregados são os carvões ativados (CHAN *et al.,* 2012; DOMINGUES *et al.,* 2021), os quais com a impregnação em sua estrutura de materiais como o óxido de grafeno podem ter sua eficiência melhorada para remoção de alguns poluentes específicos (ABD-ELHAMID *et al.,* 2019).

Para a produção de óxido de grafeno, utiliza-se como matéria prima principal o grafite (DIAS *et al.,* 2021). Uma alternativa sustentável de suprimento de grafite para tal finalidade pode ser a partir de pilhas zinco-carbono exauridas. Estas após o fim de sua vida útil, muitas vezes são descartadas inadequadamente em aterros e lixões, tornando-se um grande problema ambiental em função da lixiviação de metais pesados e consequente contaminação do meio ambiente (FARZANA *et al.,* 2018).

Neste âmbito, o presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação da cinética de adsorção do corante azul de metileno em solução aquosa empregando-se comoadsorvente o carvão ativado impregnado com óxido de grafeno. De forma geral, buscou-se minimizar o impacto ambiental do descarte de resíduos líquidos contendo corantes, melhorando a eficiência de remoção destes, aliada a possibilidade de expansão dareciclagem de pilhas zinco-carbono exauridas, pelo uso do bastão de

grafite para a produção do óxido de grafeno.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas pilhas do tipo zinco-carbono da marca Panasonic®, adquiridas em pontos de coleta na cidade de Francisco Beltrão/PR. As pilhas foram desmanteladas e extraído somente o bastão de grafite, o qual foi utilizado como matéria prima para a produção do óxido de grafeno.

Os adsorventes avaliados foram o carvão ativado comercial de origem vegetal (casca de coco de dendê) e ainda o carvão ativado modificado a partir da impregnação de óxido de grafeno ao mesmo, produzindo pelo método de Hummers modificado, seguindo metodologia proposta por Hummers e Offeman (1958). Este método é constituído das etapas apresentadas na Figura 1 para a preparação de óxido de grafeno (lavagem ácida, pré-oxidação e oxidação). Ao final do processo, o conteúdo foi transferido para placas de Petri, para que ocorresse a formação do filme, permanecendo em estufa a 70°C por 12h.

Figura 1 - Método para obtenção do óxido de grafeno pelo método Hummers modificado

Fonte: Autoria própria (2020).

A impregnação do óxido de grafeno foi então realizada em carvão ativado de cascade coco de dendê, conforme metodologia descrita por Marin (2017), pela técnica de impregnação por evaporação. Assim, fez-se a mistura de água destilada (40 mL), óxido de grafeno (0,4 g) e carvão ativado (12 g), mantendo-se a mistura sob agitação

à temperatura de 80 °C até a completa evaporação da fase líquida. Em seguida, fez-se a calcinação em forno mufla (300oC por 3 h, com rampa de aquecimento de 10oC min-1) em um reator batelada de aço inox fechado.

O adsorbato empregado foi o corante azul de metileno, preparado a partir da dissolução do corante em água destilada na proporção de 100 mg de corante para 1 litro de solução, perfazendo a concentração de 100 mg L-1. A solução teve ainda o pH ajustadopara o valor definido em cada ensaio utilizando-se HCl e/ou NaOH (1 mol L-1). Para avaliação da concentração de corante presente nas amostras, foi construída uma curva de calibração (Conc = 5,6088*Abs; R2=0,9986), sendo analisadas as absorbâncias de soluções com diferentes concentrações e feita a correlação linear. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV-Vis, no comprimento de onda de maior absorção docorante (665 nm).

Os ensaios de adsorção em batelada foram realizados com a mistura de determinada massa de adsorvente (m) e volume de solução de corante (V) em Erlenmeyere estes dispostos em mesa agitadora orbital à temperatura ambiente, por tempo de contato definido em cada ensaio. Após cada ensaio, foram coletadas alíquotas da mistura sendo realizada a separação do adsorbato e o adsorvente por centrifugação (3500 rpm por 5 min), realizando-se em seguida a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (665 nm) para determinação da concentração residual de corante (Cf) e correlação com a concentração inicial (Ci). A determinação da capacidade de adsorção do corante (q) foi realizada conforme Equação (1).

$$q\ (mg\ g^{-1}) = \frac{(C_i - C_f) * V}{m} \qquad (1)$$

A influência do pH inicial da solução de corante na capacidade de adsorção do corante azul de metileno pelo carvão ativado e carvão ativado impregnado com óxido degrafeno foi avaliada para valores de pH 3, 4, 5, 6 e 7. Para tanto, foram realizados ensaios de adsorção em batelada, com a mistura de 0,25 g de adsorvente e 50 mL de solução de corante (100 mg L-1) (ESPINOZA-QUIÑONES et al., 2010) com o pH ajustado para osvalores citados. Os recipientes contendo a mistura foram mantidos sob agitação constante (150 rpm), em temperatura ambiente (aproximadamente 25oC), por 360 min.

O estudo cinético foi realizado por meio de ensaios de adsorção em batelada, nos quais foram homogeneizados 2,5 g de adsorvente e 500 mL de solução do corante

azul de metileno, em pH inicial 5,0 e com concentração inicial de 100 mg L-1. A mistura foi mantida sob agitação constante à 150 rpm em temperatura ambiente por 6 horas, sendo realizadas amostragens de 5 mL entre 5 min e 360 min, em intervalos de tempo predefinidos. Ao final de cada ensaio, as amostras coletadas foram submetidas à centrifugação (3000 rpm por 5 min) e determinada a concentração do corante residual por análise em espectrofotômetro UV-Vis (665 nm). Os dados cinéticos foram avaliados utilizando-se os modelos cinéticos de pseudoprimeira ordem (LAGERGREN, 1898), pseudo segunda ordem (HO e MCKAY, 1998), Elovich (TURNER, 1975) e difusão intrapartícula (WEBER e MORRIS, 1963).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para determinação do pH adequado para o processo, avaliou-se a capacidade de adsorção para pH inicial da solução de corante na faixa de pH 3 a 7, conforme resultados apresentados na Tabela 1. Para os ensaios realizados com pH inicial inferior a 5 não houve variação na capacidade de adsorção, entretanto, observando-se ligeira redução para valores de pH 6 e 7. Assim, foi selecionado o pH inicial 5 como condição de trabalho para os demais ensaios.

Tabela 1 – Avaliação da influência do pH inicial da solução na capacidade de adsorção do corante pelo carvão ativado e carvão ativado impregnado com óxido de grafeno

pH inicial	Conc. inicial (mg L^{-1})	Carvão ativado			Carvão ativado impregnado com óxido de grafeno		
		pH final	Conc. final (mg L^{-1})	q (mg g^{-1})	pH final	Conc. final (mg L^{-1})	q (mg g^{-1})
3	110,66	4,09	0,14	22,02	7,01	0,04	22,04
4	110,72	6,8	0,25	22,02	6,62	0,14	22,09
5	110,66	6,83	0,29	22,08	6,93	0,07	22,11
6	101,01	6,91	0,70	19,98	6,95	0,06	20,11
7	101,80	6,85	0,07	20,26	7,01	0,14	20,27

Fonte: Autoria própria (2020).

No estudo da cinética de adsorção, buscou-se identificar o tempo requerido para que o equilíbrio fosse estabelecido. Os dados cinéticos obtidos para ambos adsorventes (Figura 2) evidenciam o comportamento distinto da capacidade de adsorção em função do tempo nos tempos inferiores a 100 min.

Figura 2 - Dados cinéticos de adsorção do corante azul de metileno: (a) carvão ativado e (b) carvão ativado impregnado com óxido de grafeno

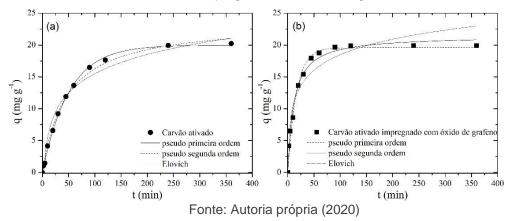
Fonte: Autoria própria (2020)

Conforme figura 2, a remoção do corante foi relativamente rápida nos estágios iniciais do processo, até o equilíbrio. Com base nesses dados, observa-se que o tempo necessário para o estabelecimento do equilíbrio, utilizando o carvão ativado como adsorvente foi de aproximadamente 240 min. Para o carvão ativado impregnado com óxido de grafeno, o equilíbrio foi estabelecido com cerca de 90 minutos de operação. Dessa forma, observou-se que a impregnação do óxido de grafeno propiciou a execução do processo de adsorção em um menor intervalo de tempo, o que indica potencialidade de redução de custos operacionais. Os dados experimentais foram examinados usando modelos matemáticos, conforme indicado na Figura 2, sendo que a partir dos ajustes dos modelos cinéticos foram obtidos os valores dos parâmetros de cada modelo (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores dos parâmetros ajustados dos modelos cinéticos de adsorção do corante azul de metileno

Adsorventes			
Modelo Cinético	**Parâmetros ajustados**	**Carvão ativado**	**Carvão ativado impregnado com óxido de grafeno**
Pseudo primeira Ordem $q = q_e (1-e^{-k_1 t})$	q_e (mg g^{-1})	19,97 ± 0,22	19,59 ± 0,38
	k_1 (h^{-1})	0,0198 ± 0,0006	0,061 ± 0,005
	R^2	0,9981	0,9856
Pseudo segunda Ordem $q = \frac{q_e^2 k_2 t}{k_2 q_e t + 1}$	q_e (mg g^{-1})	23,66 ± 0,55	21,5 ± 0,5
	k_2 (g mg^{-1} h^{-1})	0,00093 ± 0,00008	0,0041 ± 0,0005
	R^2	0,9952	0,9886
Elovich $q = b \ln(a b) + b \ln t$	a (mg g^{-1} h^{-1})	0,08 ± 0,02	0,56 ± 0,31
	b (g mg^{-1})	4,35 ± 0,27	3,51 ± 0,36
	R^2	0,9661	0,9361

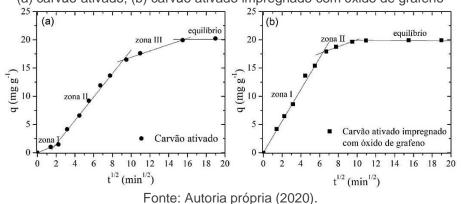
Fonte: Autoria própria (2020).

Como pode ser observado na Tabela 2, ambos os modelos de pseudoprimeira e pseudosegunda ordem apresentaram bom ajustes aos dados cinéticos dos dois adsorventes avaliados. De forma geral, evidencia-se que os valores da constante de velocidade de adsorção do modelo de pseudoprimeira ordem (k1) e do modelo de pseudosegunda ordem(k2) com o carvão ativado foram menores que os valores desses parâmetros para a cinéticacom o carvão ativado impregnado com óxido de grafeno (Tabela 2). Assim, indica-se queo processo em que havia a presença do óxido de grafeno no adsorvente foi mais rápido, pois quanto maior o valor das constantes k1 e/ou k2, mais rapidamente ocorre a adsorção (FREITAS, 2018).

Os modelos cinéticos os quais os ajustes são apresentados na Tabela 2, por vezes podem não descrever todo o processo de adsorção, pois não elucidam os mecanismos de transferência de massa. A análise dos dados pelo modelo de difusão intrapartícula proposto por Weber e Morris (1963) (Equação 2), pode colaborar para identificação dos processos de transferência de massa e da etapa limitante do processo em estudo (MÓDENES *et al.,* 2017). Os dados cinéticos avaliados a partir do modelo de difusão intrapartícula são apresentados na Figura 3 e os valores dos parâmetros ajustados para o modelo são expostos na Tabela 3.

$$q = k_d(t)^{1/2} + C \tag{2}$$

Figura 3 - Avaliação das zonas de transferência de massa pelo modelo de difusão intrapartícula: (a) carvão ativado; (b) carvão ativado impregnado com óxido de grafeno

Fonte: Autoria própria (2020).

Para o carvão ativado, a etapa que demorou mais tempo para ocorrer, conforme observado na Figura 3 (a), foi a transferência de massa na camada externa correspondente a adsorção nos meso e macroporos (zona II). Entretanto, para o carvão ativado impregnado com óxido de grafeno (Figura 3(b)), a etapa predominante do processo apresentou-se como sendo a adsorção no filme líquido externo da

partícula de adsorvente(zona I) ocorrendo de 0 a 6 min1/2.

Assim, ao comparar-se a raiz do tempo (t1/2) discorrido para transferência de massa na zona I, entre o carvão ativado e o carvão ativado impregnado com óxido de grafeno, verifica-se aumento significativo na duração desta etapa de 2 para 6 min1/2, respectivamente. Para a zona II (difusão nos meso e macroporos), o carvão ativado indicou resultados com duração de 2 a cerca de 10 min1/2, e a adição do óxido de grafenoao adsorvente fez com que essa etapa ocorresse em um menor intervalo de tempo (6 a cerca de 10 min1/2). Além disso, para o carvão ativado, foi observada subsequente etapa de difusão intrapartícula nos microporos (zona III), sendo que esta etapa adicional acresceu o tempo para que o equilíbrio fosse atingido. Apesar de não ser observada a zonaIII para o carvão ativado impregnado com óxido de grafeno, não foram evidenciados impactos negativos na capacidade de adsorção global, sendo atingidos valores similares no equilíbrio (Tabela 3).

As constantes de velocidades das etapas de transferência de massa (kd) (Tabela 3) corroboram ainda com os resultados discutidos da Figura 3, mostrando que para o carvão ativado a constante kd2 (relativa a zona II) apresentou maior valor se comparada as constantes kd1 e kd3 (zona I e zona III, respectivamente), indicando que estas duas últimas podem ser as etapas limitantes do processo. Em contrapartida, para o carvão ativado impregnado com óxido de grafeno, a etapa indicada como limitante do processo consta na transferência de massa nos meso e macroporos (zona II), por ser a etapa com a menor constante de velocidade (kd,2).

Tabela 3 - Parâmetros do modelo de difusão intrapartícula para os dados cinéticos de adsorção do corante azul de metileno

		Adsorventes	
Zonas de difusão	**Parâmetro**	**Carvão ativado**	**Carvão ativado impregnado com óxido de grafeno**
Zona I	kd,1 (mg g^{-1} $h^{-1/2}$)	0,67 ± 0,02	2,79 ± 0,06
	C1(mg g^{-1})	---	---
	R^2	0,996	0,997
Zona II	kd,2 (mg g^{-1} $h^{-1/2}$)	2,083 ± 0,082	0,61 ± 0,07
	C2 (mg g^{-1})	-2,625 ± 0,503	13,88 ± 0,57
	R^2	0,991	0,97
Zona III	kd,3 (mg g^{-1} $h^{-1/2}$)	0,56 ± 0,05	
	C3 (mg g^{-1})	11,31 ± 0,65	
	R^2	0,982	
Equilíbrio	qe (mg g^{-1})	20,2	19,9

Fonte: Autoria própria (2020).

O melhor desempenho cinético do adsorvente com o óxido de grafeno pode estar relacionado com alterações na estrutura do carvão ativado mediante impregnação do óxido de grafeno. As modificações estruturais podem ter ocorrido no âmbito de alteração dos grupos funcionais presentes no adsorvente, modificação no tamanho dos poros, maior disponibilização de sítios ativos na superfície externa do adsorvente com a impregnação, entre outros fatores. Sendo o adsorbato uma molécula grande, a predominância de meso (diâmetro de 20 e 500 Å) e macroporos (diâmetro > 500 Å) pode favorecer a adsorção do corante (COLETTI, 2017; RODRÍGUEZ-REINOSO e MOLINA-SABIO, 1998). Assim, caso a impregnação do óxido de grafeno tenha alterado as características de tamanho de poros, este pode ser um dos fatores de contribuição para a difusão facilitada do corante no adsorvente modificado, discorrendo de um processo mais rápido.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a impregnação de óxido de grafeno no carvão ativado, promoveu-se alterações no adsorvente que, apesar de não terem aumentado a eficiência global do processo de adsorção do corante azul de metileno, conferiram maior velocidade ao processo, evidenciada pelos dados cinéticos. Portanto, estes resultados sugerem que o material produzido é um adsorvente de potencial para emprego na remoção de corantes de águas residuais industriais.

REFERÊNCIAS

ABD-ELHAMID, A.I. *et al.* Evaluation of graphene oxide-activated carbon as effective composite adsorbent toward the removal of cationic dyes: Composite preparation, characterization and adsorption parameters. Journal of Molecular Liquids, Alexandria, v.279, p. 530-539, 2019.

ANDRONIC, L.; DUTA, A. Photodegradation processes in two-dyes systems – Simultaneous analysis by first-order spectra derivative method. Chemical Engineering Journal, v. 198-199, p. 468-475, 2014.

BELTRAN, L. B. *et al.* Processo de biossorção de corante utilizando casca de tangerina (citrus reticulata). Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 6, p. 41760-41771, 2020.

COLETTI, M.; Adsorção de azul de metileno em solução aquosa em casca de maracujá.Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Química) – Departamento Acadêmico de Química e Biologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10057/1/CT_COLQUI_2017_2_10.pdf. Acesso em: 30 ago. 2020.

DEBNATH, S. *et al.* Optimization and mechanism elucidation of the catalytic photo-degradation of the dyes Eosin Yellow (EY) and Naphthol blue black (NBB) by a polyaniline-coated titanium dioxide nanocomposite. Applied Catalysis B: Environmental,v. 163, p. 330-342, 2015.

DIAS, L. I. R. *et al.* Aproveitamento de resíduos da construção e demolição (RCD) na fabricação de blocos de concreto sem e com adição de óxido de grafeno. Brazilian Journalof Development. v.7, n.1, p. 5972-5989, 2021.

DOMINGUES, L. F. *et al.* Produção de carvão a partir da casca de laranja ativado com cloreto de cálcio (CaCl2) e sua aplicação em tratamento de água contaminada com nitrato(NO3-). Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 404-413, 2021.

ESPINOZA-QUIÑONES, F.R. *et al.* Application of high resolution X-ray emission spectroscopy on the study of Cr ion adsorption by activated carbon. Applied Radiation and Isotopes, v.68, n. 12, p. 2208-2213, 2010.

FARZANA, R. *et al.* Thermal nanosizing: Novel route to synthesize manganese oxide and zinc oxide 40 nanoparticles simultaneously from spent Zn–C battery. Journal of Cleaner Production, v. 196, p. 478–488, 2018.

FREITAS, E. D.; Adsorção competitiva de íons prata e cobre em argila bentonítica. 2016.133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual deCampinas, São Paulo, 2016. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/304805/1/Freitas_EmanuelleDa ntasde_M.pdf. Acesso em: 30 ago. 2020.

HO, Y.S.; MCKAY, G.; Sorption of dye from aqueous solution by peat; Chemical

Engineering Journal, v. 70, p. 115-124, 1998.

HUMMERS, W. S.; OFFEMAN, R. E. Preparation of Graphitic Oxide. Journal of the American Chemical Society, v. 80, n. 6, p. 1339, 1958.

KORDOULI, E.; BOURIKAS, K.; LYCOURGHIOTIS, A.; KORDULIS, C. The mechanism of azo-dyes adsorption on the titanium dioxide surface and their photocatalytic degradation over samples with various anatase/rutile ratios. Catalysis Today, v. 252, p. 128–135, 2015.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G. de; DURAN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. Química Nova, São Paulo, v.25, n.1, 78- 82, 2002.

LAGERGREN, S.; About the theory of so-called adsorption of soluble substances, Kungl.Svenska vetenskapsakademiens handlingar, v. 24, p. 1 – 39, 1898.

MARIN, P.; Remoção de flúor utilizando adsorventes comerciais e um novo material sintetizado à base de grafeno. 2017. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. Disponível em: http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3674, Acesso em: 30 ago. 2020.

MÓDENES, A. N. *et al.* Potential of Salvinia auriculata biomass as biosorbent of the Cr(III): directed chemical treatment, modeling and sorption mechanism study; Environmental Technology, v. 38, p. 1474-1488, 2017.

SAGGIORO, E. M. *et al.* Photo-decolorization and ecotoxicological effects of solar compound parabolic collector pilot plant and artificial light photocatalysis of indigo carmine dye; Dyes and Pigments, v. 113, p. 571-580, 2015.

TURNER, N. H.; Kinetics of Chemisorption: An Examination of the Elovich Equation; Journal of catalysis, v. 36, p. 262-265, 1975.

WEBER, W.J., MORRIS, J.C.; Kinetics of adsorption on carbon from solution; J. Sanit.Eng. Div., v. 89, p. 31-60, 1963.

CAPÍTULO 02

CONTRIBUTIONS TO THE DEVELOPMENT OF SUPPLIERS IN COMPETITIVE ENVIRONMENTS: A CASE STUDY IN BRAZILIAN COMPANIES

Luiz de Freitas Ayres
Departamento de Produção e Sistemas - DPS Universidade do Minho - Campus de Gualtar – Braga
E-mail: id6889@alunos.uminho.pt

Maria Sameiro Carvalho
Departamento de Produção e Sistemas - DPS - Centro Algoritmi
Universidade do Minho - Campus de Gualtar – Braga
E-mail: sameiro@dps.uminho.pt

Paulo Sampaio
Departamento de Produção e Sistemas - DPS - Centro Algoritmi
Universidade do Minho - Campus de Gualtar – Braga
E-mail: paulosampaio@dps.uminho.pt

Antonio Henriques de Araújo Júnior
Department of Production Engineering, Rio de Janeiro, State University,
Rio de Janeiro, Brazil
E-mail: anthenriques2001@yahoo.com.br

ABSTRACT: The purpose of this paper was to identify through a systematic literature review the relevant supplier development (SD) practices and the supplier evolution concept in the last three decades. The literature review identified the relevant SD concepts, which figure out a proposed conceptual framework to depict the supplier development process in a holistic way, and its expanded version aims to help organizational managers develop their strategic suppliers. The method used was a systematic literature review ranged from 01/01/1999 until 30/06/2018. The obtained results show us that the supplier's development concepts presented an evolutionary process over time, undergoing a paradigm shift from a transaction-oriented way to a relation-oriented relationship. The proposed expanded framework resulting from this work aims to favor managers to direct their suppliers' practices better. The analysis of the results obtained indicates that the purchasing companies and their suppliers need to intensify the long-term relationships between them to face the challenges promoted by the intense use of new technologies induced by IIoT.

KEYWORDS: Development of strategic suppliers; Supplier development evolution; Relevant supplier development practices; Conceptual and expanded framework.

1. INTRODUCTION

Manufacturing organizations face a huge challenge and are at an inflection point due novel technologies in their operational systems. Accordingly, Koren (2010), the operating companies' environmental is subjected to extreme pressures, which varied over time. The significant volatility promoted by a massive use of new technologies requires different competition levels, and one of them has been occurring within the supplier base of these companies. In order to become more responsive to the environmental threats, companies, according to Krause, Handfield and Scannell (1998a), have been promoting a reduction of their hierarchical organizational levels and, at the same time, seeking to concentrate on their central businesses, promoting the outsourcing of their no core processes and products/services. These strategic movements promoted greater dependence of the purchasing companies on their suppliers, requiring them to synchronize their internal manufacturing process at a higher level of their supply chains. This integration, combined with higher automatization’s production, is promoted by the tools associated with the Industrial Internet of Things (IIoT). The expected synchronism between the production lines of the purchasing companies and their suppliers' production lines, built up by IIoT, will reduce the distances and bottlenecks, which are still present in the delivery chain of many of them. These changes in the companies' operating environment should have been requiring them to take a differentiated approach related to their suppliers and how they intend to work together with them to place the organizations differently vis-à-vis their competitors. Therefore, the supplier development activities have been playing a significant role since the nineties, and they are perceived just as efforts made by purchasing firms together with their suppliers to ensure a competitive advantage for them and at the same time, to prepare the involved suppliers and the entire organizational supply chain for new challenges ahead.

1.1 Objectives

This article paper's main objective is to identify and encompass a systematic literature review of the relevant supplier development practices and identify the supplier development concept's evolution over time, its critical success factors, barriers, and drivers. Besides that, it proposed a conceptual framework to depict the

supplier's development processes. Also, it proposed a conceptual framework to depicts the supplier's development processes as a paper's academic contribution through a robust literature review to integrating relevant SD concepts in almost three decades. The expanded version of the supplier development process's conceptual framework aims to assist organizational managers in developing their strategic suppliers and corresponds to the practical contribution of this investigative work. At the same time, this paper aims to contribute to possible later investigations and collaborating to understand these organizations' practices to capacitate their supply chains.

2. LITERATURE REVIEW

The importance of the systematic literature review was emphasized by Saunders, Lewis and Thornhill (2000) to understand, summarize, evaluate and organize the main ideas and concepts already formulated by the former researchers in a structured way to generate knowledge and new approaches to the studied phenomena. Glock, Grosse and Ries (2017) reinforce the considerations of Saunders, Lewis and Thornhill (2000) by indicated that the systematization employed during the literature review allows readers and new researchers to reproduce and evaluate the studies performed, allowing a better interpretation of the obtained data. Furthermore, the literature review in scientific research becomes even more significative significant importance because the repeated studies carried out on the same subject and realized by diverse researchers have generated a quantity of knowledge dispersed and difficulties to be consolidated in a structured way (COOPER and HEDGES, 2010).

2.1 Suppliers’ development categories

According to Krause and Ellram (1997), purchasing companies have been seeking to focus on their core competencies and, at the same time, to outsource part of their production process, which automatically makes them more dependent on their suppliers. When companies continue to focus on their core competencies and decentralize those considered non-core activities to external suppliers, supply chain management is seen as a source of competitive advantage (KRAUSE, HANDFIELD and SCANNELL, 1998b). Krause, Scannell and Calantone (2000) reinforce the considerations made in the sense that organizations promote strategic actions related

to their supplier's development in order to ensure the increase of buying firm's core competencies, allowing them to improve their market share performance. Likewise, Lambert and Schwieterman (2012) point out that managing the relationship between buyer firms and their suppliers is a critical business process that establishes the necessary expertise to produce innovative products, which helping buying firms to quickly launch them into the markets. This strategic organizational movement is associated with intensive competition faced by the organizations, which are operating in dynamic environments, encouraging the buying firms to develop their suppliers and, at the same time, with a need to establish a long-term strategic partnership with them (SHAHZAD, SILLANPÄPÄ and IMERI, 2016). The same authors stressed that companies require increasing responsibilities of their suppliers in order to produce innovative, high-quality products at competitive prices and at a reduced delivery time, what according to the above authors, are essential requirements to operate in highly competitive environments. The literature review conducted by this paper had identified distinct supplier development practices as indicated in Table 1. As it can be seen from Table 1, eleven practices were categorized from the literature review, and from this amount, four were taken into consideration in order to execute this bibliographic research: Barriers and critical success factors, Supplier development, Best development supplier's practices and Literature review on supplier development, which were complemented with articles of the most recurrent authors on the theme "efforts, strategy and competitive advantage's categorization of supplier development".

Table 1 – Supplier Development Categorization [developed by researcher]

Supplier Development Categories	Related Articles
Efforts, strategy and competitive advantage	184
Integration and involvement of supplier on new products	72
Impact on buyer-supplier performance and Trust	40
Supplier development	37
Social capital	32
Barriers and critical success factors	29
Quality tools	24
Risk, FUZZY/AHP	21
Knowledge shared among/by Suppliers	14
Best development supplier's practices	13
Literature review on supplier development	12

As it can be seen from Table 1, the largest article distribution was concentrated in the categories Efforts, strategy and competitive advantage, and Integration and supplier involvement on new products development. Efforts were concentrated on 91 articles, corresponding to 19.0 % of the total identified by Google Search to perform this research. Figure 1 shows how the development of suppliers has generated a progressive interest both in academia and in organizational environments, as can be seen from the increasing number of publications on the subject in the analyzed periods of time.

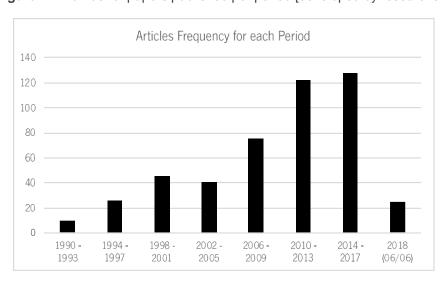



Figure 1 – Number of papers published per period [developed by researcher]

The growing number of articles published on the theme reveals the academic's concern to understand the supplier's development process, used by manufacturing companies, with the objective to further develop and integrate their supplier base into their supply chains. The importance of the supplier development subject in the current business environment reflects the purchasing firm's concern to create a competent and committed supplier base and so to release its efforts to achieve its strategic objectives. Thereby, and based on the statements previously mentioned, the major objective of this paper is to outline the results of a literature review concerning supplier's development as used by purchasing firms in a competitive environment as well as to provide a framework to capture and understand the related results of this bibliographic research.

3.1 Supplier development's concept, its evolution, practices and future challenges

The large organizations have their operational manufacturing's process fragmented and dispersed around the world, and this requires the presence of local suppliers so that they need have the desired production capacity and, in this way, the development of suppliers by these companies becomes a preponderant factor in the achievement of the organizational strategic objectives (Glock, Grosse and Ries, 2017). Dalvi and Kant (2015) pointed out that there is great acceptance among academics and practitioners that supplier development activities, when properly applied, promote significant results on supply chain management, the purchased product's quality, the services provided, and the performance of the distribution's channels.

Table 2 sought to consolidate the main supplier development concepts that were identified by the author's articles which were collected by the literature review.

Table 2 – Supplier Development Evolution [developed by researcher]

Authors/Year	Evolution of Supplier Development Concept
Hahn, Watts and Kim (1990)	Any systematic organizational effort to create and maintain a competent supplier network; in a narrow sense, it involves creating new sources of supply and, in a broader perspective, involves activities designed to increase supplier capabilities.
Watts and Hahn (1993)	Long-term cooperation effort between the purchasing firm and its suppliers to increase technical capacity, quality, delivery and costs, with the adoption of continuous improvement.
Hartley and Choi (1996)	Practice of working with suppliers to increase both performance and capabilities.
Krause and Ellram (1998a)	Effort of firms to increase performance and / or capabilities to meet the firm's short - and/or long - term supply needs.
Krause and Ellram (1998b)	Supplier development may range from limited efforts, such as informal supplier evaluation and request for improvement performance to extensive efforts, such as training of the supplier's personnel and investment in the supplier's operation.
Krause, Handfield and Scannell (1998)	Any set of activities carried out through the purchasing companies to identify, measure and improve the performance of suppliers and facilitate continuous development of all products and services values offered to the business units of purchasing companies.
Krause, Scannell and Calantone (2000)	Set of activities performed by purchasing firm to increase either supplier's performance or capabilities, both of which made to meet firm's needs on both short and long term.
Sako (2004)	Development of suppliers can be understood as the attempt of buyer firms to transfer or replicate part of their capacities through their organizational boundaries.
Narasimhan, Mahapatra and	Investments made by buyer firms to increase the operational

Arlbjørn (2009)	capacities of suppliers.
Govindan, Kannan and Haq (2010)	Effort made by purchasing firms with suppliers to increase their performance and / or capabilities thereby obtain procurement needs from suppliers.
Sillanpää; Shahzad and Sillanpää (2015)	Supplier development is a understanding process including four steps: supplier assessment; competitive pressure; supplier incentives and direct involvement.
Dalvi and Kant (2015)	Supplier development activity is defined as any set of activities undertaken by a buying organization to identify, measure and improve supplier performance to facilitate the continuous improvement of the overall value of goods and services supplied to the buying organization's business unit.
Rezaei and Tavasszy (2015)	Supplier development is a related strategic supplier activity designed to upgrade the performance level of suppliers in order to create and maintain a network of competent suppliers, which has a major influence on the competitive advantages of a buying company.
Chen, Ellis and Suresh (2016)	It is a consensual intention to implement specific activities or developments in a given supplier, inside of a specific environment, in which there is an exchange of knowledge with suppliers.
Shahzad et al. (2016)	More important efforts by purchasing companies not only to maintain their competitive advantage, but also to develop suppliers to achieve long-term partnership and to strengthen their relationships.

The concept of supplier development presented an evolutionary process over time. The main points of this concept and the steps of its evolution can be identified by the analysis of Table 2 and demonstrated by the following aspects:

- the development of suppliers is carried out only with those enterprises that already belongs to the suppliers' base of the purchasing companies;
- for construction of the concept, indicated by the researched authors, there is no indication of which practices could be adopted by these companies in order to develop their suppliers;
- the non-restriction of the practices to develop their suppliers promoted a profusion of them developed by the purchasing companies, with to intending to develop their suppliers;
- in the initial stages, the development of suppliers had an imposition by the purchasing's firms over its suppliers - the so-called buyer's firm long arm over their suppliers;
- actions taken by the purchasing's firms may range from an extreme where only limited and short-term efforts by companies are considered to correct existing supplier's problem, to a more profound spread, where actions were taken in

conjunction with their suppliers, and these meant, therefore, a long- term mutual commitment partnership;

- according to Sillanpää, Shahzad and Sillanpää (2015), supplier's development should be understood as a process, which consists of four stages: supplier assessment; competitive pressure; supplier incentives and direct involvement;
- Rezaei, Wang and Tavasszy (2015) emphasize that the suppliers' development is a strategic action of the purchasing companies, in order to obtain a qualified supplier base and, with this, to obtain competitive advantages with its competitors;
- this set of integrated practices has been transforming the actions carried out with the suppliers into a more collaborative, committed, and intense generation and knowledge exchange. It arose from the process of development and learning, nourished by the relationship between the companies.

The leading supplier development practices that were identified by the literature review are indicated by Pareto's diagram, shown in Figure 2. The Pareto's diagram shows the following vital supplier's development practices, which were captured by the conducted literature review: Performance improvement and goals/Assessment and supplier qualification; limited number of suppliers/Segmentation; Direct investments/Supplier development Programs/Supplier support activities; Long-term activities/ Commitment/mutual trust; Team works/Cooperation efforts; Training and education; Communication and information; Feedback; Knowledge transfer; promises for future business; Awards and recognition; Site visits on consulting performance improvement/goals, assessment and supplier qualification.

Figure 2 – Pareto's Diagram of supplier development practices [developed by researcher]

Analysis of the Pareto diagram reveals the following aspects:

- there are some supplier development practices applied by purchasing firms, which are already consecrated by the use and some of which were mentioned earlier by the author's Ayres *et al.* (2017);
- in general, the supplier development practices aim to improve the performance of their suppliers in order to achieve the organizational objectives of both enterprises;
- the performance improvement and goals/assessment and supplier qualification can be understood, as former actions used by purchasing firms to segment and reduce the number of supplier's base are considered as precedents efforts of the development practices themselves;
- training and education practices; feedback of the results obtained; direct investments/supplier development program/support activities of the purchasing companies in the suppliers; the communication and information processes; long-term activities/commitment/ mutual trust favors the relationship between them; team works/cooperative efforts by common projects carried out with multidisciplinary teams; associated with visits on consulting in the supplier's site; related to promises for future business/awards and recognition; associated with the transfer of knowledge reinforce the established practices;
- analyzing the concepts established by the reviewed academics, it is implied that researches have been suggested that buyer-supplier relationships are undergoing a paradigm shift, which means, from a transaction-oriented way to a relation-oriented

relationship, that represents an important organizational concern for business.

Sánchez-Rodríguez (2009) argues that relational view may realize a competitive vantage for those organizations who combine resources in a unique way, mainly if they are connected and aligned with the firm’s overall goals and strategies, through four important mechanisms: joint investments; knowledge exchange; combining valuable and scarce resources and effective governance.

4. METHODS

In the process of reviewing the literature, researchers face a significant challenge, according to Glock, Grosse and Ries (2017), which is to define the boundaries to be used in order to either separate or include the articles used for the study of the phenomena in question. The same authors point out that a restrictive criterion used in the literature review could exclude relevant works and, at the same time, on the other hand, will promote an expressive number of articles, which many of them are not addressed directly to the topic researched. The research methodology, the steps taken to review the literature, the results obtained, which were carried out in this paper, was based on the main categorization’s steps proposed by Cooper and Hedges (2010) and adapted by the authors for this specific paper. The research focused on collecting the leading interest material for this research to obtain data related to supplier development in a competitive environment. The SD concepts obtained were consolidated in order to depict an integrated supplier development conceptual framework. The articles inclusion criteria for this research were - the used search engine was "Google Scholar," and the keywords were "Supplier Development in the article's title" limited them to English language, only academic peer-reviewed papers, and the research range was from 01/01/1990 until 30/06/2018. The research’s range allowed us better to understand the evolution of supplier development over time and capture the best practices to be used by the purchasing firms to develop their suppliers. Integrate the past literature, consolidated supplier's development concepts and develop a proposal of a supplier development conceptual framework and its expanded version to be validated and used by the managers to improve the supplier's development practices were the main objectives of this paper.

5. PROPOSED CONCEPTUAL FRAMEWORK AND ITS EXPANDED VERSION

A conceptual framework is defined as an interconnected network of concepts that, as a whole, promote a comprehensive understanding of a given phenomenon (Jabareen, 2009). The concepts present in the proposed conceptual framework were not inserted into it at random but were picked up and harvested from a robust review of the literature on suppliers' development for almost three decades. In this way, the concepts inserted in the conceptual framework interact with each other and support them by articulating the respective phenomenon, representing the developing supplier's process, thereby establishing a specific philosophy. The relevant practices obtained by the literature reviewed lead to the construction of the following conceptual framework as proposed by the authors of this article, which is depicted in Figure 3.

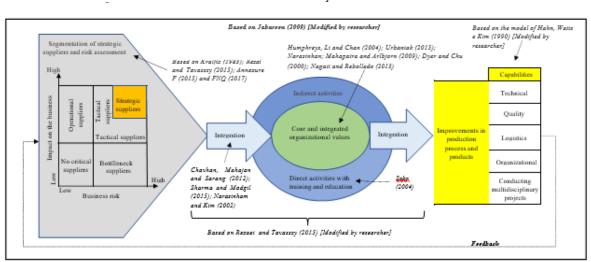



Figure 3 – Conceptual framework representing the supplier's development process [Developed by researcher]

Jabareen (2009) proposes the use of conceptual frameworks for phenomena linked to different bodies of knowledge. The same academic points out that most social phenomena are complex and linked to the knowledge of different disciplines and, therefore, the conceptual framework builds the bridges that promote the link between these different bodies of knowledge. As we can see in Figure 3, the conceptual framework contains the related concepts to the SD phenomenon picked up from the literature review and the relevant authors who support the placed concepts put in it. The following concepts are highlighted in it:

- segmentation of supplier base to identify the strategic ones to develop them;
- support the long-term partnership by the organizational values;
- integrating and synchronizing SD practices between companies, ensuring the commitment of the multidisciplinary teams to achieve challenging goals;
- developing new capabilities to improve the production process, products, and services;
- finally, the feedback to ensure dynamism to the model.

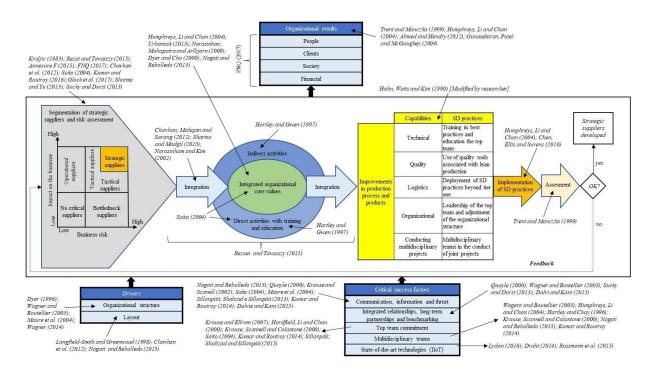
However, the conceptual frameworks are indeterministic in nature and therefore do not enable us to predict an outcome (Jabareen, 2009). Thus, the conceptual framework used in this project assists in the identification of relevant supplier development concepts, their contextualization, indicating their interrelationships (Waldt, 2005). In this way, the conceptual framework contributes to the academy, as it consolidates the SD practices collected from the literature review integrating them through in a holistic representation of the supplier development process. However, it does not directly apply in assisting organizational managers in developing their supply base.

5.1 Proposed expanded framework

The relevant practice's concepts obtained by the literature reviewed and shown in Figure 3 lead to a construction of a following conceptual expanded framework to develop the supplier's base of the purchasing companies proposed by the authors of this article. The expanded framework depicts in Figure 4 was planned to be a practical contribution to the understanding of the supplier development process, understood holistically, as the generator of outputs, designed in this case as an organizational result, a developed and apt strategic supplier which are able to be delivered to the following most relevant internal organizational's customers:

- the purchasing area;
- the manufacturing and
- the logistics

Figure 4 – represents the expanded framework.

Figure 4 – Expanded framework representing supplier's development (Soares, A.R. and Ayres, 2017) modified by the author

In this way, the conceptual expanded framework developed from the suppliers' development concepts and relevant practices obtained by the literature review that constitutes the supplier development process, barriers, critical success factors, drivers, and the managers' speeches are depicted in Figure 4. The expanded framework proposed by Figure 4 represents a holistic view to be followed by the purchasing companies to facilitate the development of their supplier base. Maurer, Dietz and Lang (2004) emphasize that the relationship between purchasing companies and their suppliers has been becoming increasingly complex among its participants, mainly because of reduced time of the life cycle of new products and the vast innovations' speed. Therefore, the actors on both sides of this relationship need to leave their usually antagonistic positions to become more cooperative and integrate unique capabilities to obtain increasingly differentiated products for their end customers (Sánchez-Rodríguez, 2009). Thus, the practices indicated by Figure 4 need to be coupled with the following trends:

- dramatic acceleration of new products' development and shrinking of the production cycles, with increasing dependence on its suppliers;
- development of new capabilities with knowledge transfer to ensure better

management of quality along the supply chain must integrate the necessary capabilities and expertise into their purchasing organization;

- increased quality of the products and services offer to the market. Use of the multidisciplinary teams specializing in quality and process improvement into the supplier's manufacturing sites, using the lean manufacturing principles;
- increased product differentiation reflects the individual lifestyle. It becomes increasingly important to design systems and components for complete product's families with high and long-term activities integrating purchasing firms and their suppliers;
- global sourcing means that purchasing firms need to identify and develop a new set of local suppliers, evaluating, developing, and recognizing them as strategic suppliers;
- strategically suppliers will grow by acquisition, reducing the field of maneuver of the purchasing companies;
- the next challenge is that the suppliers need to be able to identify their sub-suppliers, integrating them into the entire supply chain;
- suppliers will be the drivers of the innovation. Resident engineers in the purchasing firms to better understanding the development plans and influence them to the supplier's strategic advantage;
- engaging strategic suppliers in a partnership program such as P&D;
- the buyer firms become even more dependents on the supplier's overall performance;
- suitable product categorization to improve the adoption of e-procurement and the critical factor is the linkage systems existing in both organizations.

Therefore, to understand the expanded framework of the supplier development, it is necessary to link the development practices employed by the purchasing companies with the trends above presented. In this way, the expanded framework was designed to help organizational managers develop their strategic suppliers in a design that graphically represents the entire developing suppliers' process in a holistic view.

6. RESULTS AND DISCUSSION

The development of suppliers has been experiencing an evolutionary process

over time. All the changes in this concept have transformed the practices carried out with the suppliers into a more collaborative, committed, and intense generation and exchange of knowledge. Shahzad, Sillanpäpä and Imeri (2016) point out that companies participating in competitive markets need to establish longer-term relationships. This approach was already highlighted by Krause and Ellram (1997), which asserted that the central purpose of the buying firms procurement's function was to assure and maintain a capable supplier base. This type of approach has become more critical since the purchasing companies, focusing on their core competencies to outsource part of their production processes, are becoming more and more dependent on their suppliers. These considerations are essential nowadays, just because the production processes usually are dispersed across many regions of the globe, so that the buying firm's suppliers, customers, and other stakeholders are joined through shared information, material, and capital flow (Seuring and Müller, 2008). A more significant point is that, has been changing the competitive edge of enterprises by shifting competition between individual enterprises to the supply chain as a whole (KUMAR and ROUTROY, 2017). Similarly, Lambert and Schwieterman (2012) had already made the same considerations by finding out that competition between companies operating in highly competitive environments does not compete more independently and autonomously, but rather than between their supply chains, reinforcing the importance of developing suppliers to these enterprises. Accordingly, to Kumar, Routroy (2017) purchasing companies become responsible for the social and environmental performance of their suppliers and these considerations are aligned with Krause, Handfield and Scannell (1998b) and Glock, Grosse and Ries (2017), which reinforce the increase of production's process dispersion around the world and the supplier's consideration as an important partner to increase the competitive position of the purchasing companies. Another critical study on the challenges to be faced by suppliers in disruptive environments was developed by Lazard and Roland Berger (2017), who emphasized that suppliers need to ensure the following main steps in order to assure their competitivity:

- suppliers need to build up new hard and soft competencies very fast because the old competencies will often not work anymore in disruptive scenarios;
- the massive technology shifts will require suppliers to invest in new and old technologies in parallel;

- usually, the supplier base does not have enough investment capacity.

In the same way, Shahzad, Sillanpäpä and Imeri (2016) highlighted that in recent years, supplier development activities are considered to be significant efforts that firms need to undertake, not only to gain competitive advantage but also to develop their suppliers for a long-term partnership and thereby to improve and consolidate the partnership between them. Therefore, suppliers are considered the most critical assets to provide the incomes and capabilities for purchasing firms to produce meaningful products and services, and it is the primary reason firms are making efforts to produce supplier development programs (SHAHZAD, SILLANPÄPÄ and IMERI 2016). Wagner (2006) established an essential aspect when a buying firm proposing a supplier development based on improving their short-term results, the as called supplier development oriented toward results, the gain of these activities is limited, and the supplier’s chance to improve through their own efforts is reduced. On the other hand, when applying a development-oriented to a process, suppliers' ability in acting by itself is increased and, mainly from when the buyer companies finished their development activities and left the suppliers at their own expense. The practices indicated in Figure 4 reveal the relevant practices used to develop the suppliers, representing critical success factors, barriers, and drivers for supplier development. However, how they are combined and interconnected is ensure the unique competitive differential for organizations in these environments promoted by IIoT. Therefore, the expanded framework proposed in Figure 4 aims to relate the SD practices consolidating them in an image that represents the dynamics for the supplier’s development process by the purchasing companies. According to the proposed expanded framework, suppliers' development starts with the segmentation and reduction of suppliers' numbers to be developed by the purchasing companies. This is a strategic move to be used by purchasing companies since suppliers' development must focus on those suppliers considered strategic for these companies' business model. The next step is determined by long-term term activities based on commitment and mutual trust related to both enterprises' organizational values. The SD practices integrated and synchronized between enterprises ensure new competencies to build a differentiated competitive level is the next step to be considered. These practices are then directed to manufacturing processes based on lean manufacturing principles. In this way, managers implement and evaluate the results of improvements made in the suppliers

with subsequent feedback to stakeholders. Practices based on multidisciplinary team work's ensuring cooperative efforts to solve common problems, with intensive knowledge transfer, communication and information in a two-way road, strengthen the education and training of the strategic suppliers' managers, associated with integrated relationships partnerships and the application of the cutting edges technologies make up the critical success factors. The organizational structure and layout are presented as important drivers, as they interact with decision-making and communications between the SD processes' agents. The results obtained through these integrated practices are communicated by Feedback, which mobilizes the suppliers for challenging results, aided by the recognition of suppliers who made a difference with promises for new business, awards, and recognition. It should be noted that the monitoring of the integration of these practices is carried out through visits to supplier's sites, conducted by employees of the purchasing companies acting as consultants and not as auditors.

7. CONCLUSION

The bibliographic study allowed us to outline some significant conclusions, such as some practices of supplier development that were practiced by purchasing companies consecrated by the use. According to the researched authors, the concept of supplier development extended its scope to a more systemic partnership between companies, with a massive exchange of knowledge and learning between them. Therefore, Wagner (2006) points out that supplier development is “an inter-organizational collective learning”, and in this way, suppliers become a valuable knowledge- generating asset with significant potential to be explored by purchasing companies. Urbaniak (2015) stresses the importance of establishing a relationship of trust between purchasing companies and their suppliers, what according to this author, is a critical success factor so that the relevant practices of purchasing companies incorporated them into the suppliers' process. The established trust becomes the basis for ensuring mutual commitment between companies and sustaining long-term relationships between stakeholders (Hofmann and Rüsch 2017). The trends pointed in this article reflect the challenges that suppliers will have to face in conjunction with purchasing companies so that they need to catalyze and integrate supplier's development practices that make them innovators. The interfaces between purchasing

companies and their supplier base must be able to develop new business models and long-term strategic partnership programs to enhance and multiply new supplier's capacities for the challenges ahead. The presence of multidisciplinary teams to consolidate preventive measures instead of corrective actions and improve the qualitative level of products and services throughout the supply chain is also considered a critical success factor for the strategic supplier's development. The considerations taken from the literature review constitute demands to be overcome by companies, which aim to move to markets that use new technologies in their manufacturing systems in a massive way, just in case as the I4.0. This approach significantly increases the importance of the quality of the interface between suppliers and purchasing companies, increasing the need to strengthen partnership programs, the commitment of the top team to design new business models and to use the new tools provided by IIoT (Maurer, Dietz and Lang, 2004). The paper contributes academically to a conceptual framework that sought to aggregate the relevant SD concepts through a robust literature review, integrating them through a visual representation (Figure 3). The considerations made until now reinforce the importance of using the supplier development practices as indicated by the expanded framework in Figure 4. However, they must be applied in an interconnected way. The expanded framework proposed gives us a graphical representation of how buyer companies can apply their SD practically. With this intent, this article was produced to consolidate these different tendencies in the suppliers' development and thereby facilitate purchasing companies' managers the development of their supplier base.

Paper's limitation and future investigations

The extended framework was obtained from the conceptual framework and the managers' speech and, therefore, needs to be tested in practice to prove its use by the managers. In this way, a window of opportunity opens up to develop new studies based on the conceptual framework and the extended framework proposed in this paper to collaborate for academia and for organizational managers who aim to develop strategic suppliers in their supply chains. Future research is expected to put in practice the expanded framework by the organizational managers.

REFERENCES

Ahmed, Muddassir and Hendry, Linda (2012) Supplier development literature review and key future research areas (2012) *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol:2 nº4, pp.293-303.

Annexure, F (2015) Supplier development guideline document.
Ayres, L. de F.; Araújo, A.H.A.J.; Telhada, J.M.H.; Sampaio, P.A.C.A; Sameiro, M. F. B. S. C. (2018) 'A literature review about future prospects of supplier development'.

Chavhan, Rajendra; Mahajan, S K and Sarang, Joshi P (2012) Supplier Development Theories and Practices *Journal of Mechanical and Civil Engineering* (IOSR-JMCE) vol:3, issue:3 pp. 37-51 doi:10.9790/1684-033375.

Chen, Liang; Ellis, Scott C and Suresh, Nallan (2016) A supplier development adoption framework using expectancy theory *International Journal of Operations & Production Management* vol: 36 issue: 5 pp. 592-615 doi: 10.1108/IJOPM-09-2013- 0413.

Cooper, Harris and Hedges, L. (2009) Research Synthesis as a Scientific Process', *in Research Synthesis as a Scientific Process*, pp. 3–16.

Dalvi, Vithalrao M. and Kant, Ravi (2015) 'Benefits, criteria and activities of supplier development: a categorical literature review', *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 27(4), pp. 653–675. doi: 10.1108/09564230910978511. Draht (2014) Industrie 4.0 Innovationen für die Produktion von Morgen Bundesministerium für Bildung und Forshung.

Dyer, J. and Chu, W. (2011) The determinants of trust in supplier-automaker relations in the US, Japan and Korea: A retrospective *Journal of International Business Studies* vol. 42 issue: 1 pp. 28-34 doi: 10.1057/jibs.2010.48.
Fundação Nacional da Qualidade (Quality National Foundation) 2017 *Gestão de Fornecedores* (Supplier Managment).

Glock, Christoph H; Grosse, Eric H and Ries, Jorg M. (2017) Decision support models for supplier development : Systematic literature review and research agenda International *Journal of Production Economics*, 193(August), pp. 798–812.

Govindan, Kannan; Kannan, Devika and Haq, Noorul A (2010) Analysing supplier development criteria for an automobile industry *Industrial Management &Data Systems* vol: 110 nº 1 pp: 43-62 doi: 10.1108/02635571011008399.

Gunasekaran, A.; Patel, A. and McGaughey, R. E. (2004) A framework for supply chain performance measurement *International Journal of Production Economics* vol.87 issue 3 pp. 333-347 doi: 1o.1016/j.ijpe-2003.08.003.

Hahn, Chan K; Watts, Charles A; Kim, Kee Y (1990) The supplier development program: a conceptual model *Journal of Purchasing Management* 26, 2, pp. 2-7. ABI/INFORM Global.

Hartley, Janeth L and Choi, Thomas Y (1996) Supplier development: Customers as a catalyst of process change *Business Horizons* vol.:39, issue:4, pp. 37-44 doi: 10.1016/S0007-6813(96)90050-6 ISBN; 0007-6813.

Hofmann, E. and Rüsh, M. (2017) Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics *Computers in Industry* Elsevier B.V. 89, pp. 23-34 doi: 10.1016/j.compind.2017.04.002.

Humphreys, P. K.; Li, W.L. and Chan, L. Y. (2004) The impact of supplier development on buyer-supplier performance *The International Journal of Management Science* vol.32 issue 2 pp. 131-143 doi: 10.1016/j.omega.2003.09.016.

Jabareen, Yosef (2009) Building a Conceptual Framework: Philosophy, Definitions, and Procedure *International Institute for Qualitative Methodology* (IIQM) vol.8 issue: 4 pp. 49-62.

Koren, Y. (2010) 'The Global Manufacturing Revolution Reconfigurable Manufacturing Systems and System Configuration Analysis Responsive Business Models for Global Manufacturing Enterprises Enterprise Globalization Strategies Where Are Manufacturing Enterprises Headed?' Available at: https://erc.engin.umich.edu/wp- content/uploads/sites/50/2013/08/12pgbook.pdf.

Kralijic, Peter (1983) Purchasing must become supply management *Harvard Business Review* pp. 109-117.

Krause, D. and Ellram, L. (1997) 'Success factors in supplier development', International *Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 27(1), pp. 39–52. doi: 10.1108/09600039710162277.

Krause, D. R., Handfield, R. B. and Scannell, T. V. (1998a) 'An empirical investigation of supplier development: reactive and strategic processes', *Journal of Operations Management*, 17(1), pp. 39–58. doi: 10.1016/S0272-6963(98)00030-8.

Krause, D. R., Handfield, R. B. and Scannell, T. V. (1998b) 'Critical elements of supplier development: The buying-firm perspective', *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 3 (1), pp. 21-31doi: 10.1016/S0969-7012(96)0003-2.

Krause, Daniel R.; Handfield, Robert B. and Tyler, Beverly B. (2007) The relationships between supplier development, commitment, social capital accumulation and performance improvement *Journal of Operations Management* vol. 25 issue: 2 pp. 528-545 doi: 10.1016/j.jom.2006.05.007.

Krause, Daniel R; Scannell, Thomas V; Calantone, Roger J (2000) 'A structural analysis of the effectiveness of buying firms' strategies to improve supplier performance *Decision Sciences*, 31(1), pp. 33–55 doi: 10.1111/j.1540- 5915.2000.tb00923.x.

Kumar, Sunil C V and Routroy, Srikanta (2017) Analyzing a manufacturer's returns from supplier development programs ScienceDirect, 5th *International Conference of Materials Processing and Characterization (ICMPC 2016)* vol:4 issue: 2 pp. 2255–2262. doi: 10.1016/j.matpr.2017.02.073.

Langfield-Smith, Kim and Greenwood, Michelle R. (1998) Developing co-operative buyer-supplier relationships: A case study of Toyota *Journal of Management Studies* vol.35 issue: 3 pp. 331-353 doi: 10.111/1467-6486.00096.

Lambert, D. M. and Schwieterman, M. A. (2012) 'Supplier relationship management as a macro business process', *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(3), pp. 337–352. doi: 10.1108/13598541211227153.

Lazard and Roland Berger (2017) Global Automotive Supplier Study 2008 Transformation in light of

automotive disruption, Database.

Lydon (2016) Cover Story: Industry 4.0: Intelligent and flexible production - ISA.
Maurer, Andreas; Dietz, Frank and Lang, Nikolaus (2004) 'Beyond Cost Reduction: Reinventing the Automotive OEM-Supplier Interface', *BCG Automotive Publications Report - The Boston Consulting Group*, pp. 1–48.

Nagati, H. and Rebolledo, C.(2013) Supplier development efforts: The supplier's point of view *Industrial Marketing Management* vol. 42 issue 2 pp. 180-188 doi: 10.1016/j.indmarman.2012.12.006.

Narasinham, Ram and Kim, Wook S. (2002) Effect of supply chain integration on the relationship between diversification and performance: Evidence from Japonese and Korean firms *Journal of Operations Management* vol. 20, issue 3 pp.303-323 doi: 10.1016/so272-6963(20) 00008-6.

Narasinhan, Ram; Mahapatra, Santosh and Arlbjørn, Jan S (2009) Impact of relational norms, supplier development and trust on supplier performance *Operations Management Research* vol:1 issue:1 pp:24-30 doi: 10.1007/s12063-008-0004-0.

Rezaei, J., Wang, J. and Tavasszy, L. (2015) 'Linking supplier development to supplier segmentation using Best Worst Method',
Expert Systems with Applications, 42(23), pp. 9152–9164. doi: 10.1016/j.eswa.2015.07.073.

Rüssmann, Michael; Lorenz, Markus; Gebert, Phillip; Waldner, Manuela; Justus, Jan; Engel. Pascal and Harnish, Michall (2015) Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries - *Boston Consulting Group* pp. 1-5 ISBN: 9783935089296.

Sako, Mari (2004) Supplier development at Honda, Nissan and Toyota: Comparative case studies of organizational capability enhancement *Industrial and Corporate Change* vol. 13 issue 2 pp. 281-308 doi: 10.1108/08858620910939714.

Sánchez-Rodríguez, C. (2009) 'Effect of strategic purchasing on supplier development and performance: A structural model', *Journal of Business and Industrial Marketing*, 24(3–4), pp. 161–172. doi: 10.1108/08858620910939714.

Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2000) Research methods for business students. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.

Shahzad, Khuram; Sillanpäpä, Elina and Imeri, Shepend (2016) 'Benchmarking supplier development: An empirical case study of validating a framework to improve buyer-supplier relationship', *Management and Production Engineering Review*, 7(1), pp. 56–70. doi: 10.1515/mper-2016-0007.

Sharma, Sanjay and Modgil, Sachin (2015) Supply chain and total quality management framework design for business performance-case study evidence *Journal of Enterprise Information Management* vol.28 issue:6 pp. 905-930 doi: 10.1108/JEIM -10-2014-0104.

Sillanpää, I., Shahzad, K. and Sillanpää, E. (2015) 'Supplier development and buyer-supplier relationship strategies - a literature review', *International Journal of Procurement Management*, 8(1/2), p. 227. doi: 10.1504/IJPM.2015.066283.

Sucky, Eric and Durst, Sebastian M. (2013) Supplier development: Current status of empirical research

International Journal of Procurement Management vol.6 issue: 2 pp. 92-127 doi: 10.1504/IJPM.2013.050612.

Trent, Robert J.; Monczka, Robert M. (1999) Achiving world-class supplier quality *Total Quality Management* vol. 10, nº 6 pp. 927- 938 doi: 10.1080/0954412997334.
Urbaniak, M. (2015) 'The role of the continuous improvement tools of processess in building relationships in supply chain', *Logforum*, 11, pp. 41–50. doi: 10.17270/J.LOG.2015.1.4.

Van der Waldt, G. (2005) Constructing conceptual frameworks in social science research T*he Journal for Transdisciplinary Research in Southern Africa AOSIS* pp. 1-9 doi: 104102/td.v16i1.758.

Wagner, S. M. (2006) 'Supplier development practices: an exploratory study', *European Journal of Marketing*, 40(5/6), pp. 554– 571. doi: 10.1108/03090560610657831.

Wagner, Stephan M. and Boutellier, Roman (2003) Lieferantenentwicklung in der supply chain : *Eine Bestandsaufnahme Instrument & Techniken*
Watts, Charles A.; Hahn, Chan K. (1993) Supplier development programs: An empirical analysis *International Journal of Purchasing and Materials Management* vol.29 issue 2 pp. 11-17.

BIOGRAPHIES

Luiz de Freitas Ayres holds a degree in Metallurgical Engineering from the Armando Álvares Penteado Foundation (1976) and a Master's degree in Business Administration from Presbyterian University Mackenzie (2007). He served as a part-time professor at Mackenzie Presbyterian University in Campinas, Brazil and has a 25 years professional experience in Quality Management at Mercedes Benz do Brasil. Currently, he is finishing a Ph.D at the University of Minho, Portugal.

Maria Sameiro Faria Brandão Soares Carvalho is graduated in Computer and Systems Engineering in the University of Minho, Portugal. She holds an MSc degree in Transportation Planning and Engineering and a PhD degree in Transportation Planning from the University of Leeds, UK. Her main research interests are Operational Research, Logistics and Supply Chain Management.

Paulo Alexandre da Costa Araújo Sampaio is an Associate Professor, is graduated in Industrial Engineering and Management at the University of Minho in 2002 (5-year degree). He completed his PhD in Industrial Engineering in 2008 at the University of Minho. His research activities are developed under the Industrial Engineering and Management Research Line of the ALGORITMI Research Centre, within the Supply-chain, Logistics and Transportation Systems (SLOTS) Research Group, in the fields of Quality and Organizational Excellence.

Antonio Henriques de Araújo Júnior is a Transportation Engineer, graduated at the German Wuppertaler Bergische University. He got a Master degree in Economics at the University of São Paulo (USP), Brazil and a PhD degree from the Escola Politécnica (USP), in Production Engineering. He teaches and investigates in Production Engineering related areas at the State University of Rio de Janeiro. He is a reviewer of several international journals in Production Engineering related areas and is an area editor of the Journal of Aerospace Technology and Management (JATM). Dr. Araujo worked many years in the automotive and aeronautical industry.

CAPÍTULO 03

A UTILIZAÇÃO DO MBT PARA LEVANTAMENTO DAS DIFICULDADES CONCEITUAISEM MECÂNICA APRESENTADA POR ALUNOS DE GRADUAÇÃO DO CEUNES

Igor Donizete Nunes Bravo
Mestre em Ensino na Educação Básica Superintendência Regional de Educação de São Mateus/SEDU
Endereço: Av. Jones dos Santos Neves, s/n°, Centro, São Mateus/ES. CEP: 29930-000
E-mail: igorbravo_donizete@hotmail.com

Rodrigo Dias Pereira
Doutor em Física Universidade Federal do Espírito Santo
Endereço: Rod. Governador Mário Covas, Km 60 - Bairro Litorâneo, São Mateus/ES CEP 29932-540
E-mail: rodrigo.pereira@ufes.br

RESUMO: A forma de ensinar e avaliar física pouco se alterou nos últimos anos; ainda se dá ênfase à resolução mecanizada de problemas de Física básica, em vez de uma discussão conceitual mais profunda dos conceitos físicos. Uma consequência direta disto é que, na maioria das vezes, os alunos permanecem com concepções espontâneas e pré-conceitos errôneos trazidos do ensino médio e de sua própria experiência pessoal. Este trabalho foi realizado com a intenção de identificar as dificuldades conceituais em alguns tópicos da mecânica Newtoniana, em alunos ingressantes e do segundo período dos cursos de licenciatura, engenharia, ciências biológicas e ciência da computação do CEUNES/UFES. O intuito é caracterizar o grau de entendimento conceitual dos alunos e obter informações que evidenciem as dificuldades conceituais enfrentadas por eles. Foi usado o teste conceitual Mechanics Baseline Test como método de avaliação. Os resultados demonstram que todos os participantes apresentam dificuldades conceituais em vários tópicos da mecânica Newtoniana, tais como: velocidade, aceleração, força, conservação da energia e do momento linear, além de grandes dificuldades de se analisar gráficos e diagramas. Existem fortes indícios de que tais dificuldades estão relacionadas com as concepções espontâneas adquiridas cotidianamente e que persistem mesmo após o curso de física introdutória de mecânica na universidade. Além disso, verificamos que tais concepções espontâneas podem ser investigadas através da utilização dos testes conceituais, tais como o Mechanics Baseline Test, e os resultados podem ser importantes na implementação de ações mitigadoras no ensino de física, uma vez que o professor poderá verificar em quais tópicos seus alunos apresentam maior dificuldade conceitual.

PALAVRAS-CHAVE: Dificuldades Conceituais; Mechanics Baseline Test; Concepções Espontâneas.

ABSTRACT: The way physics is taught and assessed has changed little in recent years; emphasis isstill placed on mechanized problem solving of basic physics, rather than a deeper conceptual discussion of physics concepts. A direct consequence of this is that, most of the time, students remain with spontaneous conceptions and misconceptions brought from high school and from their own personal experience. This

work was carried out with the intention of identifying the conceptual difficulties in some topics of Newtonian mechanics, in beginning and second period students of undergraduate, engineering, biological sciences and computer science courses at CEUNES/UFES. The purpose is to characterize the students' level of conceptual understanding and to obtain information that shows the conceptual difficulties faced by them. The conceptual Mechanics Baseline Test was used as an evaluation method. The results show that all participants have conceptual difficulties in various topics of Newtonian mechanics, such as: velocity, acceleration, force, conservation of energy and linear momentum, and great difficulties in analyzing graphs and diagrams. There are strong indications that such difficulties are related to spontaneous conceptions acquired in everyday life and that persist even after the introductory physics of mechanics course at university. Furthermore, we found that such spontaneous conceptions can be investigated through the use of conceptual tests, such as the Mechanics Baseline Test, and the results can be important in the implementation of mitigating actions in physics teaching, since the teacher will be able to verify in which topics his students present more conceptual difficulty.

KEYWORDS: Conceptual Difficulties; Mechanics Baseline Test; Spontaneous Conceptions.

1. INTRODUÇÃO

As diretrizes curriculares para os cursos de graduação, definidas pelo Ministério da Educação estabelecem disciplinas relativas ao “núcleo de conteúdos básicos”. Entre elas a física, que está presente não apenas nos cursos de exatas, mas também em cursos de Ciências Biológicas, Farmácia etc. Assim, em diversos cursos superiores, os alunos estudam frequentemente física básica; em geral começam com tópicos relacionados à mecânica. O aluno revê conteúdos já estudados no ensino médio, porém com um ferramental matemático mais aprofundado, utilizando cálculo diferencial e integral (BARBETA e YAMAMOTO, 2002).

Quando observamos detalhadamente o ensino de física, notamos, por exemplo, que o ensino de mecânica tem se mostrando cada vez mais defasado no nível superior, em que a maior dificuldade do aluno está na tradução dos fenômenos cotidianos observados em símbolos como equações, gráficos e diagramas. Tais dificuldades são, muitas vezes, ocasionadas pela falta de compreensão conceitual dos fenômenos físicos. Em princípio, os conceitos explorados na disciplina de mecânica são aqueles que já foram, ou deveriam ter sido ensinados no ensino médio.

Um fato de que não podemos esquecer é que muitos dos conceitos básicos de física trazidos por esses novos alunos ingressantes são concepções espontâneas, adquiridas das vivências do dia a dia, que vão se transformando na medida em que novos conhecimentos científicos são adquiridos. No entanto, essas concepções podem servir de obstáculos à compreensão dos modelos cientificamente aceitos, caso elas não sejam combatidas e investigadas em sala de aula (ZYLBERSZTAJAN, 1983).

Uma das ferramentas utilizadas para a verificação da problemática anteriorsão provas diagnósticas conceituais, como o *“Force Concept Inventory”* (FCI) eo *“Mechanics Baseline Test”* (MBT), como método de investigação no ensino de física, que fornecem grandes indícios sobre quais classes de erros apresentam os estudantes ingressantes nas universidades. Além de contribuir para uma melhor atividade do docente, os resultados dos testes permitem a tomada de ações em relação aos cursos introdutórios de física básica. As porcentagens de respostas corretas medem as dificuldades das perguntas e permitem identificar se o estudante universitário tem as competências necessárias para iniciar a carreira universitária. Por outro lado, as porcentagens de respostas incorretas medem a eficiência dos

distratores e são índices importantes na avaliação da eficácia de uma pergunta ao medir que classe de erros conceituais têm os alunos em determinados tópico de mecânica.

Este trabalho tem como principal objetivo utilizar o teste conceitual MBT, desenvolvido por Hestenes e Wells, para efetuar um levantamento a respeito das dificuldades conceituais de mecânica apresentadas pelos alunos do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, da Universidade Federal do Espírito Santo (CEUNES/UFES). Além disso, através da aplicação deste teste, buscamos identificar o grau de entendimento conceitual em vários tópicos relacionados à cinemática e à dinâmica de ponto materiais, bem como a habilidade em interpretar gráficos e diagramas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Como citado anteriormente, com o intuito de estudar o senso comum que muitos alunos apresentam em física, especialmente sobre movimento e força, David Hestenes, Malcolm Wells e Gregg Swackhamer desenvolveram e aplicaram, em 1992, na Universidade de Harvad e em colégios de ensino médio do Arizona, o FCI, um teste conceitual sobre as Leis de Newton que, segundo os autores, dispensava o conhecimento formal em física. O resultado da aplicação do FCI a 500 alunos mostrou que ele pode ser utilizado como um teste de nivelamento em faculdades e universidades para ajudar a determinar se a compreensão dos alunos de conceitos de física introdutória é suficiente para um curso mais avançado.

Com o mesmo intuito de avaliar a compreensão do aluno dos mais básicos conceitos de mecânica, e seguindo a proposta parecida com o FCI, Hestenes e Wells elaboraram, em 1992, o Mechanics Baseline Test, que é um conjunto de questões conceituais de física que abrange os tópicos fundamentais da física introdutória. O MBT, diferentemente do FCI, utiliza questões que não poderiam ser respondidas sem um conhecimento básico de mecânica e, portanto, para que ele seja aplicado, torna-senecessário que os alunos já tenham tido contato com os principais tópicos da física introdutória. Vale relembrar que as questões têm por objetivo verificar a bagagem conceitual dos alunos em física, e dispensam o uso de um conhecimento matemático elaborado. Com os resultados da aplicação do MBT, Hestenes e Wells concluíram que as maiores dificuldades dos estudantes parecem resultar da deficiência real dos

conceitos básicos, dos quais dois merecerem maiores atenções: cinemática e leis de conservação.

No Brasil, a fim de identificar o grau de entendimento conceitual dos vários tópicos relativos à cinemática e a dinâmica de pontos materiais, Barbeta e Yamamoto (2002) aplicaram, entre 1999 e 2000, uma adaptação em português do MBT aos alunos ingressantes no ciclo básico de engenharia da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Como resultado da pesquisa, foi observado que embora os alunos tenham tido contato prévio com os tópicos explorados pelo teste, o nível de amadurecimento sobre o assunto ainda era pequeno, prevalecendo conceitos baseados em senso comum impreciso, e que o MBT confirmou a grande deficiência em relação aos conceitos básicos de física. Ainda segundo os autores, a deficiência apontada pelos alunos ingressantes nos tópicos de mecânica, tem que ser enfrentada pelos professores dos períodos iniciais, oferecendo ao mesmo tempo condições para que os estudantes possam ampliar seus conhecimentos e sua capacidade de raciocínio, e consolidar os conceitos fundamentais.

Em 2012, Custódio (CUSTÓDIO, 2012) fez um estudo sobre “A utilização de testes conceituais em Física Básica”, com alunos de graduação de cursos de exatas, que cursavam a disciplina de física I da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Em seu trabalho Custódio nos mostra que, ao utilizar os testes conceituais, o professor pode verificar onde estão as principais dificuldades dos alunos na compreensão dos conceitos científicos ensinados, o que faz dos testes conceituais ferramentas para a melhoria do processo de ensino aprendizado.

3. METODOLOGIA

Com base na análise das ementas dos cursos de graduação do CEUNES/UFES, notamos que todas as disciplinas de Física I, Física Geral e Fundamentos da Mecânica Clássica, apresentavam uma interseção em praticamente todos os tópicos relacionados ao ramo da mecânica. Diante destas análises, ficou decidido que um único teste seria aplicado as turmas de Engenharia Química, Engenharia de Petróleo, Licenciatura em Física, Licenciatura em Química, Licenciatura em Matemática e Licenciatura em Ciências Biológicas e Bacharelado.

Após as escolhas das turmas, o teste foi confeccionado em formato de livreto. Juntamente com cada teste foi anexado o termo de consentimento, no qual o aluno

foi convidado a participar como voluntário do projeto/estudo, tendo seus dados pessoais e outras informações mantidas em sigilo. Os participantes tiveram em cada uma das 26 questões 6 opções de alternativas para marcar no gabarito, dentre elas a opção *"F"* , que corresponde à alternativa "não sei responder". Cabe ressaltar, que nos cartões-resposta os alunos não eram identificados.

3.1 Aplicação do mbt

A primeira aplicação do MBT ocorreu no início do segundo semestre letivo de 2014, quando estavam sendo ministradas as disciplinas de Física I, Física Geral e Fundamentos da Mecânica Clássica. Nessa etapa o MBT foi aplicado inicialmenteno primeiro mês de aula para os cursos de Engenharia Química, Engenharia de Petróleo, Licenciatura em Física, Licenciatura em Química, Licenciatura em Matemática e Licenciatura em Ciências Biológicas e Bacharelado, totalizando 133 amostras.

Uma nova aplicação do MBT foi proposta para os alunos ingressantes dos cursos de Engenharia de Petróleo, Engenharia Química, Engenharia de Computação e Bacharelado em Ciências Biológicas, logo na segunda semana de aula dos alunos na universidade, no início do primeiro semestre letivo de 2015. A segunda aplicação do teste obteve 139 amostras, totalizando assim 272 amostras, com á do semestre anterior.

Durante as duas aplicações do teste, foi solicitado aos estudantes que respondessem todas as questões. Não foi permitido o uso de calculadoras, uma vez que eventuais cálculos envolviam apenas conhecimento algébrico. Também foi informado aos alunos que o resultado do teste não traria qualquer benefício ou prejuízo para eles na obtenção da promoção na disciplina, sendo a participação no teste opcional.

4. ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Após a aplicação e tabulação dos resultados, faremos um breve comentário dos resultados obtidos na aplicação do MBT. De acordo com o Quadro 1, temos um panorama geral das porcentagens de respostas marcadas para cada um dos seis itens presentes nas vinte e seis questões do MBT, destacando em azul as alternativas corretas. Observa-se que algumas questões apresentam uma pequena porcentagem

de respostas em branco, enquanto as questões 9, 11, 12 e 18 apresentam consideráveis índices de respostas para a alternativa “F” (Não sei responder). De modo geral, a solução dessas questões, além de envolver conceitos físicos bem definidos, espera queo aluno seja capaz de usar corretamente as expressões relativas à força de atrito, aceleração centrípeta, conservação da energia cinética e potencial e a segunda lei do movimento de Newton. Verifica-se que outras questões que apresentam algum tipo de cálculo para a sua solução tiveram apreciáveis porcentagens para a alternativa “F”, destacando também que algumas dessas questões necessitavam de interpretação gráfica.

Quadro 1 - Porcentagem global de respostas marcadas em cada alternativa das 26 questões do Mechanics Baseline Test.

PORCENTAGEM GLOBAL DE RESPOSTAS MARCADAS								
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**Branco**	**Conceitos "Newtonianos explorados"**
1	32	57	4	1	3	3	0	Aceleração constante
2	6	11	9	45	20	8	0	Aceleração constante, Primeira Lei de Newton
3	8	14	10	29	24	16	0	Aceleração constante, Segunda Lei de
4	1	2	65	18	13	1	0	Aceleração tangencial
5	6	48	14	6	22	3	0	Aceleração centrípeta; Principio da superposição
6	2	26	40	7	21	4	0	Queda livre
7	1	3	13	69	5	8	0	Principio da superposição
8	12	17	22	17	16	16	0	Aceleração centrípeta, Segunda Lei de
9	5	17	6	11	7	51	1	Uso da expressão $a = v^2/r$, Segunda Lei, atrito
10	45	6	14	7	25	3	0	Conservação de energia
11	15	11	10	13	8	40	1	Conservação de energia
12	18	14	6	5	18	40	0	Aceleração normal, 2ª e 3ª Lei de Newton e Uso da expressão $a = v^2/r$.
13	24	23	13	23	4	12	1	Terceira lei, princípio da superposição
14	22	46	5	10	5	12	0	Terceira lei, princípio da superposição
15	13	6	8	15	35	18	4	Conservação do momento linear
16	28	42	5	4	14	6	0	Impulso-momento linear
17	1	4	47	29	4	14	0	Dependência com massas
18	11	11	15	10	16	33	3	Aceleração média, Segunda Lei de Newton
19	12	22	28	15	10	12	0	Princípio da superposição
20	29	39	17	6	2	8	0	Trabalho – energia
21	66	12	13	4	1	4	0	Dependência com massas
22	21	29	28	6	3	14	0	Impulso-momento linear
23	11	18	18	25	11	17	0	Aceleração média
24	22	11	18	7	27	14	0	Deslocamento por integração
25	24	18	11	10	21	17	0	Velocidade média
26	10	10	21	35	11	14	0	Queda livre

Os conteúdos relacionados à cinemática escalar, abordados no MBT nas

questões 1, 2, 3, 4, 18, 23, 24, 25 e 26, tiveram uma média de acertos de apenas 31%. Um fato importante que deve ser observado é que todas as questões (exceto a 18) envolvem análise de gráficos. Neste sentido, estes resultados indicam que existe uma dificuldade de relacionar um problema físico à linguagem gráfica, ou seja, os alunos não compreendem o gráfico como uma forma "alternativa" de se representar um fenômeno físico.

Os conteúdos relacionados à cinemática vetorial, mais especificamente aceleração tangencial e aceleração centrípeta, são relativos ao grupo de questões 4, 5,9 e 12, do MBT e tiveram uma média de acertos igual a 22%. Esse resultado ruim nos mostra o quanto os conceitos de aceleração centrípeta e aceleração tangencial não são compreendidos pela maioria dos estudantes.

Ao analisar o grupos de questões, que envolvem a temática dinâmica, verifica-se na questão 7 o maior índice de resposta marcadas erradas (69%) para o mesmo distrator ("D"). Esse resultado nos chama a atenção para a concepção errada de que o módulo da força normal de contato é "sempre" igual ao da força peso; tal situação é observada em diversos alunos dos mais variáveis níveis escolares. Esta concepção equivocada induz o aluno a considerar a decomposição de forças apenas na direção horizontal, indicando que o aluno aplica o princípio da superposição de forma mecanizada.

A lei da conservação da energia é mostrada nas questões 10, 11 e 20. Nessas questões o percentual médio de acertos foi igual a 18%, que nos mostra o quanto esse tópico é deficitário para a maioria dos estudantes. Na questão 10 apenas 25% dos alunos responderam corretamente o item "E", sendo que 45% preferiram a alternativa incorreta "A". Tal fato indica que os alunos associaram o formato do escorregador que apresenta uma inclinação mais brusca no item "A", se comparado com as demais questões, como por exemplo, o item "D", em que a curva não é tão brusca, tendo apenas 7% de resposta. Nessa questão 3% dos alunos responderam o item não sei responder, ou seja, não foram capazes de perceber o conceito abordado.

Outra questão que utiliza o conceito da segunda lei de Newton e o conceito de aceleração média é a questão de número 18, em que 11% registraram corretamente o item "B". Este baixo índice, associado com o alto índice de alunos que marcaram a alternativa "F", nos leva a um indício de que os alunos têm dificuldades em resolver questões com mais de um conceito com cálculos

dependentes.

As questões 15, 16 e 22 envolvem tópicos relacionados à conservação do momento linear. Na questão 15 obtivemos um índice razoável de acertos, considerando o fato de que o conteúdo de momento linear não é necessariamente trabalhado no ensino médio. Já o resultado da questão 16, mais uma vez, reforça nossa suspeita de que os alunos confundem o comportamento pontual da velocidade com o comportamento da aceleração média; talvez seja necessário enfatizar o conceito de aceleração instantânea. No entanto, a distribuição de respostas atribuídas a questão 22 indica o quanto o conceito de momento linear ainda não é claro para a maioria dos estudantes, já que as alternativas “A”, “B” e “C” tiveram praticamente as mesmas porcentagens de respostas. Na questão 22, as respostas mostram que não são claros para os alunos os conceitos de velocidade, força, aceleração, energia cinética e momento linear.

4.1 Desempenho no mbt aplicado no segundo semestre de2014 e primeiro semestre de 2015

Através da análise da Figura 1, pode-se perceber que o índice de acerto das turmas que já tinham tido contato com a disciplina de cálculo e das turmas de alunos recém-chegados na universidade é praticamente igual; tal fato indica que os alunos de 2014/01 não utilizaram as ferramentas do cálculo para obter uma “vantagem” em relação à outra turma para a resolução do MBT; isto reforça a nossa suspeita de que os alunos avaliados possuem uma considerável dificuldade em correlacionar diferentes conteúdos na resolução de problemas. Tal realidade pode estar associada com o ensino tradicional que visa apenas à resolução de problemas, muitas vezes apenas pela substituição em fórmulas prontas.

Figura 1 - Gráfico comparativo do desempenho na aplicação do MBT entre 2015/01 e 2014/02, as linhas tracejadas são apenas guia para os olhos.

Fonte: Produzido pelo autor.

O Quadro 2 apresenta o desempenho de todas as turmas participantes do MTB. Pode-se observar que nenhuma das turmas obteve um percentual médio de acertos iguais a 50%. Torna-se preocupante o número de questões com bom desempenho apresentados pelas turmas de 2014/02, pois se esperava um melhor desempenho no MBT, uma vez que elas já passaram por disciplinas de cálculo e tiveram contato com conteúdo de física durante o primeiro mês em que o MBT fora aplicado. Por outo lado o número baixo de questões com bom desempenho das turmas ingressantes de 2015/01 reforça nossas suspeitas de que esses alunos continuam a chegar à universidade com dificuldades conceituais em física.

Quadro 02 – Porcentagem global média de acertos nas 26 questões do *Mechanics Baseline Test* e número de questões com bom desempenho.

Curso	Semestre	Porcentagem global médio de acertos (%)	Número de questão com bom desempenho
Engenharia Química	2014/02	37	7
	2015/01	29	5
Engenharia de Petróleo	2014/02	39	8
	2015/01	28	2
Engenharia de Computação	2014/02	-	-
	2015/01	25	3
Ciências Biológicas	2014/02	19	2
	2015/01	18	2
Química/Matemática	2014/02	24	4
	2015/01	-	-
Física	2014/02	28	7
	2015/01	-	-

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho, de qual participaram alunos dos cursos de Engenharias e Licenciaturas, e Ciências Biológicas do CEUNES/UFES, nos alertam que os alunos ingressantes na universidade apresentam concepções espontâneas sobre movimento e forças e grandes dificuldades conceituais com relação aos conceitos de velocidade, tipos de aceleração, soma vetorial e análises de gráficos e diagramas. Considerando, intuitivamente, que os alunos de 2014/02 chegaram ao CEUNES/UFES em igualdade de condições com os alunos de 2015/01, é possível indicar que as concepções espontâneas e as dificuldades conceituais trazidas do ensino médio por esses alunos persistem, mesmo após o início dos cursos introdutórios de mecânica (Fundamentos da Mecânica Clássica, Física I e Física Geral), no nível universitário. É possível sugerir que, embora esses alunos consigam resolver os problemas do MBT que envolvem cálculos matemáticos, assim como aquelas cobradas nas provas tradicionais, eles não dominam corretamente, ou dominam muito pouco, os conceitos de tópicos de mecânica.

Outro ponto importante a destacar é que a utilização dos testes conceituais, como ferramenta de investigação e implementação de ações mitigadoras do ensino conceitual, certamente provocará ainda uma melhoria do desempenho dos estudantes em problemas tradicionais. Tendo em vista que o professor poderá verificar em quais tópicos seus alunos apresentam maior dificuldade conceitual, para assim poder apontar possíveis soluções que venham a gerar as desejadas mudanças, minimizar as dificuldades conceituais e maximizar o processo de aprendizagem.

Finalmente, consideramos que o MBT constitui uma base sólida para a verificação das dificuldades conceituais em física na disciplina de Mecânica Introdutória.

REFERÊNCIAS

BARBETA, V.B.; YAMAMOTO, I. Dificuldades conceituais em física apresentadas por alunos ingressantes em um curso de engenharia. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, n°3, 2002.

CUSTÓDIO, FAUSTO LIMA. A utilização de testes conceituais em Física básica. 2012. 118 f.Tese (Metrado em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2012.

F.C.FERREIRA, A.R.L.CAÍRES, A.A.SILVA e S.L.OLIVEIRA. Diagnóstico de dificuldades conceituais em Física apresentadas por acadêmicos ingressantes em cursos da UFGD. Encontro nacional de pesquisa em educação e ciências. Florianópolis – 2009.

HESTENES, D e WELLS, M. e Swackhamer, G. Force Concept Inventory.The PhysicsTeacher v.30, n.3, p.141-158, 1992

HESTENES, D. e WELLS, M. A Mechanics Baseline Test. The PhysicsTeacher v.30, n.3, p.141-158, 1992.

ZYLBERSZTAJN, A. Concepções Espontâneas em Física: Exemplos em Dinâmica e Implicações para o Ensino. Revista Ensino de Física, v. 5, n. 2, p.3-16, 1983.

CAPÍTULO 04

CÁLCULOS DE RMN DE ^{13}C POR MEIO DAS ABORDAGENS GIAO, CSGT E IGAIM: FATORES DE ESCALONAMENTOS PARA TERPENOS

Geomar Souza Alves
Mestre em Química
Instituição: Universidade Federal de Jataí - UFJ
Endereço: Rua D, 510. Q. 13, Lt. 8. Vila Padre Cícero. CEP: 76.200-000. Iporá-GO
E-mail: geomarsgsa7@gmail.com

Evani Ferreira Cardoso
Licenciada em Química
Instituição: Universidade Federal de Jataí - UFJ
Endereço: Av São Paulo, Q.22 L.13. Jaupaci-Go
Email: evaniferreiracardoso@gmail.com

Ana Clara Yakaba Pontes
Graduação em Biomedicina
Instituição: Universidade Federal de Jataí
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí – Goiás
E-mail: ana.pontes@discente.ufj.edu.br

Marcelo Ricardo Souza Siqueira
Doutorado em Física de Materiais
Instituição de atuação atual: Grupo Amazônico de Materiais e Energias Renováveis (GAMER), Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIFAP, Campus Marco Zero do Equador
Endereço: Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIFAP, Campus Marco Zero do Equador, Macapá-AP, CEP: 68903-419.
E-mail: marcelo.siqueira@unifap.br

Laysa Pereira Furtado
Graduação em Química
Instituição: Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí – Goiás
E-mail: laysafurtado@discente.ufj.edu.br

Lorrany Kalliny Cardoso Queiroz
Graduação em Química
Instituição: Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí – Goiás
E-mail: lo.mariah.isadora@gmail.com

Gustavo Costa Pereira
Graduação em Química
Instituição: Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí – Goiás
E-mail: gustavocostapereira47@gmail.com

Gustavo da Silva do Prado
Graduação em Química
Instituição: Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí – Goiás
E-mail: gsprado98@gmail.com

Gunar Vingre da Silva Mota
Doutor em Físico-Química
Instituição: Universidade Federal do Pará
Instituto de Ciências Exatas e Naturais ICEN UFPA
Endereço: Rua Augusto Corrêa, 1 - Universitário, Belém – PA
E-mail: gunarmota@yahoo.com

Fabio Luiz Paranhos Costa
Doutor em Química de Produtos Naturais
Instituição: Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí – Goiás
E-mail: fabbioquimica@gmail.com

KEYWORDS: Terpenes; Elemol; Performance.

ABSTRACT: Terpenes are natural products that have several biological and pharmacological properties that are directly related to their chemical structures. In the structural determination of organic molecules, Nuclear Magnetic Resonance (NMR) is used on a large scale. The chemical shift (δ) being the most important parameter. The present study aims to develop and test (the elemol molecule will be used for this purpose) δ scaling factors from ^{13}C to terpenes, based on linear regressions. 10 complex sesquiterpene molecules were selected with the unmistakably determined structures (confirmed with X-ray crystallography). The geometries were optimized at the B3LYP / 6-311 + G (d, p) level, in the gaseous phase, and the δ will be obtained at the PBE0 / aug-cc-pvdz level with three different approaches GIAO, CSGT and IGAIM, in phase gaseous and liquid, where the PCM model (polarized continuum model) was used. The TMS (tetramethylsilane) was used as a reference and the experimental data of ^{13}C were obtained in chloroform. The results of scaled RMS for the terpenes used to generate the scaling factors show that when the effects of the solvent are taken into account, even implicitly, there is an improvement in the reproduction of experimental data. However, the difference in scaled RMS values is not large enough to justify taking into account interactions with the solvent, at least with the PCM model. It is interesting

to note that with the level of theory PBE0/aug-cc-pvdz, the GIAO method presented a lower performance than the other 2 used. Another interesting point is that its calculation time, according to the simulations generated in this work, was, on average, 30% greater than the CSGT and IGAIM. Thus, for studies with terpenes, with this level of theory, the use of the GIAO method is not indicated.

1. INTRODUÇÃO

Terpenos são produtos naturais apresentam diversas propriedades biológicas, farmacológicas e tecnológicas que estão diretamente relacionadas com as suas estruturas químicas [1-22]. Na determinação estrutural de moléculas orgânicas utiliza-se em grande escala a Ressonância Magnética Nuclear (RMN) [1-22].

Sendo o deslocamento químico (δ) o parâmetro mais importante. A tarefa computacional concerne em calcular uma das propriedades da resposta magnética de segunda ordem, no qual o cálculo do tensor de blindagem magnética nuclear (σ) tem papel muito importante. É geralmente aceito que o cálculo dessas propriedades requer a utilização de procedimentos que resolvam o problema da invariância do Gauge [23].

2. OBJETIVOS

- Comparar as performances dos métodos Gauge Independent Atomic Orbital (GIAO), Continuous Set of Gauge Transformations (CSGT) e Individual Gauges for Atoms in Molecules (IGAIM) em fase gasosa e em fase líquida;
- Desenvolver fatores de escalonamento de δ de ^{13}C para terpenos, baseados em regressões lineares.
- Testar os fatores de escalonamento desenvolvidos.

3. METODOLOGIA

Foram selecionados 10 moléculas complexas de sesquiterpenos com as estruturas determinadas inequivocamente (confirmadas com cristalografia de Raio-X) [1], figura 1.

Figura 1. Representações estruturais das moléculas pertencentes à classe dos sesquiterpenos, utilizadas para parametrização do protocolo de cálculos de deslocamentos químicos de RMN ^{13}C. (1): (-)-caulerpinol; (2): (+)-heliespirona A; (3): enokipodina A; (4): (+)-artemisinina; (5): 14-hidroxi-5-desoxi-iludosina; (6): (-)-diversifolina; (7): 1,15-epoxi-4,6-dihidroxiguaian-11(13)-en-8,12-olida; (8): 8□-hidroxieremofilanolida; (9): (+)-echinopina A; (10): 2-(formilamino)-trachiopsano.

As geometrias foram otimizadas em nível B3LYP/6-311+G(d,p), em fase gasosa, e as constante de blindagem isotrópicas (σ) foram obtidos em nível

PBE0/aug-cc-pvdz com três abordagens diferentes GIAO, CSGT e IGAIM, em fase gasosa e líquida, onde foi utilizado o modelo do PCM (polarizated continum model).

O TMS (tetrametilsilano) foi usado como referência e os dados experimentais de ^{13}C foram obtidos em clorofórmio. Os deslocamentos químicos calculados (δ_{calc}) são obtidos pela expressão: σ_{TMS}- σ_{calc}, onde σ é o constante de blindagem isotrópica calculada nos 6 níveis de teoria.

A raiz do valor quadrático médio ou RMS (do inglês *root mean square*) foi o parâmetro estático para determinar qual das três abordagens apresenta o melhor desempenho. Todos os cálculos foram realizados usando o pacote de programa G09 [23] em ambiente Linux.

4. RESULTADOS

Os 6 fatores de escalonamento gerados são apresentados a seguir:

δ_{esca}= 1,03(δ_{calc}) - 3,2 (CSGT-GAS)

δ_{esca}=1,03 (δ_{calc}) - 3,2 (IGAIM-GAS)

δ_{esca}= 1,00(δ_{calc}) - 2,0 (GIAO-GAS)

δ_{esca}= 1,01(δ_{calc}) - 3,0 (CSGT-PCM)

δ_{esca}= 1,01(δ_{calc}) - 3,1 (IGAIM-PCM)

δ_{esca}= 0,99(δ_{calc}) - 1,8 (GIAO-PCM)

Observando-se os valores médios de RMS escalonado (figura 2) percebe-se que o pior desempenho foi obtido em nível GAIO, como ou sem solvente. A introdução da correção dos efeitos do solvente, embora de forma implícita, levou a melhora na reprodução dos dados experimentais, independentemente do método utilizado para corrigir o problema da invariância do *gauge*.

Destaca-se que os melhores resultados foram obtivido com a abordagem IGAIM-PCM, embora os resultados obtidos com a abordagem CSGT-PCM sejam praticamente iguais. Outro ponto a se destacar é que a abordagem GIAO demanda, aproximadamente, 30% mais tempo de cálculo.

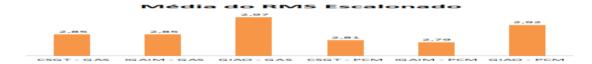
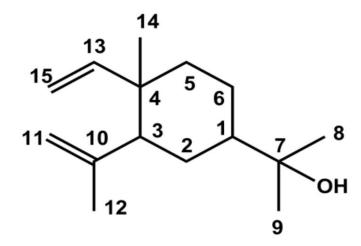
Figura 2 – Representação gráfica das médias dos erros de RMS escalonado para as 10 moléculas de sesquiterpenos após a aplicação dos 6 fatores de escalonamento.

Para aplicar os 6 fatores de escalonamento gerados utilizou-se o terpeno elemol.

Figura 3 – Estrutura da molécula de elemol

O quadro abaixo sumariza os valores de RMS calculado (RMS_{calc}) e escalonado (RMS_{escal}) em cada nível.

Nível	RMS_{calc}	RMS_{escal}
CSGT	2,60	1,94
IGAIM	2,61	1,95
GIAO	2,89	2,19
CSGT PCM	2,95	2,19
IGAIM PCM	2,96	2,19
GIAO PCM	3,39	2,36

5. DISCUSSÃO

Os resultados de RMS_{escal} para os terpenos usados para gerar os fatores de escalonamento mostram que quando se leva em contas os efeitos do solvente, mesmo de forma implícita, há melhora na reprodução dos dados experimentais.

Entretanto, a diferença de valores de RMSecal não é grande o suficiente para justificar levar em conta as interações com o solvente, pelo menos com o modelo do PCM. Para a molécula de elemol percebe-se que a utilização dos fatores de

escalonamento, como esperado, diminui os valores de RMS quando compara-se os δ de ^{13}C antes e depois de suas aplicações.

Como esperado, os métodos CSGT e IGAIM valores de RMS, calculado e escalonado praticamente equivalentes, tanto para as moléculas usada para gerar os fatores de escalonamento quanto para a molécula teste (elemol). É interessante destacar que com o nível de teoria PBE0/aug-cc-pvdz o método GIAO apresentou desempenho inferior aos outros 2 utilizados.

Outro ponto interessante é que o seu tempo de cálculo, de acordo com as simulações geradas neste trabalho, foi, em média, 30% maior do que o CSGT e o IGAIM. Assim, para estudos com terpenos, com este nível de teoria, não é indicado a utilização do método GIAO.

6. CONCLUSÕES

- ✓ Houve a produção de fatores de deslocamento em fase gasosa e em líquida para terpenos por meio das abordagens GIAO, CSGT e *IGAIM*. Com obtenção de melhores desempenhos levando em consideração o feito do solvente;
- ✓ A utilização dos métodos CSGT e IGAIM apresenta a melhor relação custo-benefício.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ) na Universidade Federal de Jataí (UFJ).

REFERÊNCIAS

[1] de Albuquerque, A.C.F., Ribeiro, D.J. and de Amorim, M.B. **2016**. Structural determination of complex natural products by quantum mechanical calculations of ^{13}C NMR chemical shifts: development of a parameterized protocol for terpenes. *Journal of Molecular Modeling*, 22(8), pp.183-189.

[2] Costa, F.L.P, Fernandes, S.B.deO., Fingolo, C.E., Boylan, F., de Jesus Chaves Neto, A.M., Mota, G.V.daS., Soares, B.A., Siqueira, M.R.S and Giacomello, T.F., **2020**. Experimental and Theoretical Nuclear Magnetic Resonance Data from Tryptanthrin, an Alkaloid with Potential Activity Against Human Coronavirus. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 12 (7), pp.963-969.

[3] Jalowitzki, S.A, Giacomello, T.F., Mota, G.V.daS., de Jesus Chaves Neto, A.M. and Costa, F.L.P., **2020**. An Application of the PCM Model for Obtaining Chalcones Magnetic Properties. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 12 (7), pp.939-950.

[4] Cardoso, E.F., de Albuquerque, A.C.F., de Jesus Chaves Neto, A.M., Mota, G.V.daS. and Costa, F.L.P., **2020**. Gauge-Including-Atomic-Orbitals-mPW1PW91/6-31G(d) Scaling Factor as a Satisfactory Cost-Effectiveness Ratio for H-1 Nuclear Magnetic Resonance Chemical Shift Calculations. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 12 (8), pp. 1095-1101.

[5] Rocha, R. A. deM., Giacomello, T.F., de Jesus Chaves Neto, A.M., Mota, G.V.daS. and Costa, F.L.P., **2020**. Diferenciação de Triterpenos Regiosoméricos por Meio de Cálculos de Deslocamento Químico de RMN de ^{13}C. *Revista Virtual de Química*, 12(4), pp. 969-980.

[6] Giacomello, T.F., Mota, G.V.daS., de Jesus Chaves Neto, A.M. and Costa, F.L.P., **2020**. Use of Replaced Chalcones to Generate a ^{13}C Chemical Shift Staging Factor for Chalcone and Its Derivate. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 12(4), pp.464-472.

[7] Souza, S.S., Martins, M.A.deS., Neto, A.M.deJ.C.; Mota, G.V.daS. And Costa, F.L.P., **2020**. Systematic Gauge-Including Atomic Orbital-Hybrid Density Functional Theory Linear Regressions for ^{13}C NMR Chemical Shifts Calculation. *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 12(3), pp.364-370.

[8] Prado, G.daS., Giacomello, T.F., Wulff, L.B., Siqueira, M.R.S., Mota, G.V.daS., Neto, A.M. deJ.C., Moraes, E.dosS. and Costa, F.L.P., **2019**. Chemical discharge of ^{13}C calculated for efavirenz. *Brazilian Journal of Development*, 5(11), pp.25698-25703.

[9] Wulff, L.B., Prado, G.daS., Giacomello, T.F., Siqueira, M.R.S., Mota, G.V.daS., Neto, A.M. deJ.C., Moraes, E.dosS. and Costa, F.L.P., **2019**. Oseltamivir, a 13C chemical displacement correlation. *Brazilian Journal of Development*, 5(12), pp. 32129-32135.

[10] Costa, F.L.P., Fernandes, S.B.deO.; Fingolo, C.E., Boylan, F. and Mota G.V.daS., **2017**. Tryptanthrin (indolo [2,1-b] quinazoline-6,12-dione) Isolation from Leaves of *Couroupita guianensis* and Its Characterization by NMR Experimental and GIAO-DFT Data. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 14(5), pp.2383-2388.

[11] Costa, F.L.P., Giacomello, T.F., de Morais Rocha, R.A., de Jesus Chaves Neto, A.M. and Mota, G.V.D.S., **2017**. Very Fast and Surprisingly Accurate GIAO-mPW1PW91/3-21G//PM7 Scaling Factor for ^{13}C NMR Chemical Shifts Calculation. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 9(3), pp.254–61.

[12] Giacomello, T.F., de Morais Rocha, R.A., de Jesus Chaves Neto, A.M., Mota, G.V.daS. and Costa, F.L.P., **2017**. Protocol for Calculating ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance Chemical Shifts of Flexible Organic Molecules. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 9(8), pp. 640–647.

[13] Costa, F.L.P., de Fernandes, S.B.O., Fingolo, C.E., Boylan, F., de Albuquerque, A.C.F., dos Santos Junior, F.M., de Amorim, M.B., **2016**. Isolation, Identification, Relative Configuration and Conformational Analysis of Loliolide by GIAO-HDFT ^{1}H and ^{13}C NMR Chemical Shifts Calculations, *Quantum Matter*, 5(5), pp.675-679.

[14] Costa, F.L.P., de Albuquerque, A.C.F., Borges, R.M., dos Santos Junior, F.M. and de Amorim, M.B., **2014**. High Cost-Effectiveness Ratio: GIAO-MPW1PW91/6-31G(d)//MPW1PW91/6-31G(d) Scaling Factor for ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance Chemical Shifts Calculation. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 11(1), pp.219–225.

[15] Costa, F.L.P. and de Amorim, M.B., **2011**. GIAO-B3LYP low computational cost scaling factor for ^{13}C NMR chemical shifts calculation. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 8(7), pp.1166-1172.

[16] Costa, F.L.P., De Albuquerque, A.C.F., Dos Santos, F.M. and de Amorim, M.B., **2010**. GIAO-HDFT scaling factor for ^{13}C NMR chemical shifts calculation. *Journal of Physical Organic Chemistry*, 23(10), pp.972–977.

[17] Dos s., F., Velozo, L., De Carvalho, E., M., A., Borges, R., Trindade, A., Dos Santos, M., de Albuquerque, A., Costa, F., Kaplan, M., De Amorim, M., **2013**. 3-Ishwarone, a Rare Ishwarane Sesquiterpene from Peperomia scandens Ruiz. Molecules (Basel. Online), 18 (11), pp. 13520-13529.

[18] Mota, E.A.V., Neto, A.F.G., Marques, F.C., Mota, G.V.S., Martins, M.G., Costa, F.L.P., Borges, R.S. and Neto, A.M.J.C. **2018**. Time-Dependent Density Functional Theory Analysis of Triphenylamine-Functionalized Graphene Doped with Transition Metals for Photocatalytic Hydrogen Production. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology,* 18(7) pp.4987-4991.

[19] Costa, F., **2006**. Electronic structure study of the reaction $C_2H_4^+ \rightarrow C_2H_2^+ + H_2$. *International Journal of Quantum Chemistry*, 106(13), pp.2763–2771.

[20] Mota, G.V. daS., Oliveira, C. X., Neto, A.M.J.C. and Costa, F.L.P. Inclusion Complexation of Praziquantel and -Cyclodextrin, Combined Molecular Mechanic and Monte Carlo Simulation, **2012**. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 9(8), pp.1090-1095.

[21] Costa, F.L. P. and de Amorim, M.B. Theoretical Study on Styrenes Planarity: Styrene and p-Hydroxi-Styrene, **2010**. *Advanced Science Letters*, 3(4) pp.507-511.

[22] Costa, F.L.P, Gomes, P.F., Silva, A.K. and L. M. Lião, L. M. Conformational Analysis, Experimental and GIAO-DFT ^{13}C NMR Chemical Shift Calculation on 2'-Hydroxy-3,4,5-trimethoxy-chalcone, **2017**. Journal of the Brazilian Chemical Society, 28(11) pp.2130-2135.

[23] Frisch, M.J., Trucks, G.W., Schlegel, H.B., Scuseria, G.E., Robb, M.A., Cheeseman, J.R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G.A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H.P., Izmaylov, A.F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J.L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda,Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J.A., Peralta, J.E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J.J., Brothers, E., Kudin, K.N., Straroverov, V.N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J.C., Iyengar, S.S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J.M., Klene, M., Knox, J.E., Cross, J.B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R.E., Yazyev, O., Austin, A.J., Cammi, R., Pomelli, C., Ochterski, J.W., Martin, R.L., Morokuma, K., Zakrzewski, V.G., Voth, G.A., Salvador, P., Dannenberg, J.J., Dapprich, S., Daniels, A.D., Farkas, Foresman, J.B., Ortiz, J.V., Cioslowski, J. and Fox, D.J., **2009**. Gaussian 09, revision b.01.

CAPÍTULO 05

COMBINAÇÃO DE FATORES DE ESCALONAMENTOS DE DESLOCAMENTOS QUÍMICOS DE RMN DE ^{13}C E ^{1}H (BASEADOS EM REGRESSÕES LINEARES) E DE REDES NEURAIS PARA AUXILIAR A DETERMINAÇÃO ESTRUTURAL DA SAVININA

Evani Ferreira Cardoso
Formação acadêmica mais alta: Licenciada em Química
Instituição de atuação atual: Universidade Federal de Jataí - UFJ
Endereço: Av São Paulo, Q.22 L.13. Jaupaci-Go
E-mail: evaniferreiracardoso@gmail.com

Roberto Carlos Campos Martins
Formação acadêmica mais alta: Doutorado
Instituicão de atuação atual: Instituto de Pesquisa de Produtos Naturais Walter Mors / Universidade Federal do Rio de Janeiro
Endereço: Avenida Carlos Chagas Filho, 373 Bloco H, Lab HSS-18 Cidade Universitária Rio de Janeiro-RJ CEP 20241-150
E-mail: roberto@ippn.ufrj.br

Rodrigo de Souza Miranda
Formação acadêmica mais alta: Mestrado
Instituicão de atuação atual: Instituto de Pesquisa de Produtos Naturais Walter Mors / Universidade Federal do Rio de Janeiro
Endereço: Av. Carlos Chagas Filho, 373 Bloco H, Lab HSS-18 Cidade Universitária Rio de Janeiro-RJ CEP 20241-150
E-mail: rodrigomiranda001@hotmail.com

Fernanda Barbosa da Silva
Formação acadêmica mais alta: Mestrado
Instituicão de atuação atual: Instituto de Pesquisa de Produtos Naturais Walter Mors / Universidade Federal do Rio de Janeiro
Endereço: Av. Carlos Chagas Filho, 373 Bloco H, Lab HSS-18 Cidade Universitária Rio de Janeiro-RJ CEP 20241-150
E-mail: silvanandab@gmail.com

Ana Clara Yakaba Pontes
Formação: Graduação em Biomedicina
Instituição de atuação atual: Universidade Federal de Jataí
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192, Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03, CEP 75801-615 Jataí/GO
E-mail: ana.pontes@discente.ufj.edu.br

Laysa Pereira Furtado
Formação acadêmica mais alta: Graduação em Química
Instituição de atuação atual: Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO
Endereço: Cidade Uni. José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192, Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03, CEP 75801-615 Jataí /GO
E-mail: laysafurtado@discente.ufj.edu.br

Lorrany Kalliny Cardoso Queiroz
Formação acadêmica mais alta: Graduação em Química
Instituição de atuação atual: Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí – Goiás
E-mail: lo.mariah.isadora@gmail.com

Gustavo Costa Pereira
Formação acadêmica mais alta: Graduação em Química
Instituição de atuação atual: Universidade Federal de Jataí, Jataí-GO
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí – Goiás
E-mail: gustavocostapereira47@gmail.com

Gunar Vingre da Silva Mota
Formação acadêmica mais alta: Doutor em Físico-Química
Instituição de atuação atual: Universidade Federal do Pará
Instituto de Ciências Exatas e Naturais ICEN UFPA
Endereço: Rua Augusto Corrêa, 1 - Universitário, Belém – PA
E-mail: gunarmota@yahoo.com

Fabio Luiz Paranhos Costa
Formação acadêmica mais alta: Doutor em Química de Produtos Naturais
Instituição de atuação atual: Universidade Federal de Goiás-REJ Jataí-GO
Endereço: Cidade Universitária José Cruciano de Araújo (Unidade Jatobá) Rod BR 364 KM 192 - Setor Parque Industrial nº 3800 Caixa Postal 03 - CEP 75801-615 Jataí/Goiás
E-mail: fabbioquimica@gmail.com

RESUMO: Este é um estudo teórico-experimental, onde a molécula foco é a savinina, uma lignana do tipo dibenzilbutirolactônica. Estas substâncias podem ser encontradas em diversos gêneros botânicos, sendo um dos de maior ocorrência o gênero *Acanthopanax* (Araliaceae), cujas espécies são tradicionalmente utilizadas como analgésico e estimulante do sistema imune, além de exibirem potentes atividade inseticida e citotóxica para células de carcinoma de cólon humano HCT116. Assim, no presente estudo apresentamos a caracterização experimental e teórica da savinina utilizando dados de RMN de ^{13}C e ^{1}H e a possível confirmação da estrutura utilizando a ferramenta de rede neural (ANN-PRA). O objetivo deste trabalho é utilizar cálculos teóricos de RMN de ^{13}C e ^{1}H e dados experimentais para a resolução da estrutura deste composto, além do uso da ferramenta de rede neural (ANN PRA) para confirmação da estrutura da molécula.

PALAVRAS-CHAVE: ANN-PRA; Savinina; GIAO.

ABSTRACT: This is a theoretical-experimental work, where the focus molecule of the study is savinine, a lignan of the dibenzylbutyrolactonic type, substances that can be found in several genera, one of which has a greater occurrence is the genus Acanthopanax (Araliaceae) which is traditionally used as an analgesic and immune

system stimulant, in addition to exhibiting a potent insecticidal and cytotoxic activity for human colon carcinoma HCT116 cells. It was isolated and here we present its experimental and theoretical characterization by means of 13C and 1H NMR data and the possible confirmation of the structure using the neural network tool (ANN-PRA). The objective of this work is to use theoretical calculations of 13C and 1H NMR and experimental data for the resolution of the savinine structure, and the use of the neural network tool (ANN-PRA) to confirm the structure of the molecule.

KEYWORDS: ANN-PRA; Savinina; GIAO.

1. INTRODUÇÃO

Lignanas são produtos naturais que se destacam pela grande diversidade estrutural que apresentam e, também, por possuírem diversas atividades biológicas. Estudos já demonstraram que diversas lignanas possuem atividade antiviral [1], antitumoral e antiparasitária [2]. Na determinação estrutural de moléculas orgânicas utiliza-se em grande escala a Ressonância Magnética Nuclear (RMN) [3]. Sendo o deslocamento químico (δ) o parâmetro mais importante. A tarefa computacional concerne em calcular uma das propriedades da resposta magnética de segunda ordem, no qual o cálculo do tensor de blindagem magnética nuclear (σ) tem papel muito importante [4-25]. Este é um trabalho teórico-experimental, onde a molécula foco do estudo é a savinina, uma lignana do tipo dibenzilbutirolactônica, substâncias que pode ser encontrada em diversos gêneros, um dos quais possui maior ocorrência é o gênero *Acanthopanax (Araliaceae*) que é tradicionalmente usado como analgésico e estimulante do sistema imunológico, além de exibir um potente atividade inseticida e citotóxica para células HCT116 de carcinoma do cólon humano [26]. Ela foi isolada e aqui apresentamos a sua caracterização experimental e teórica por meio de dados de RMN de ^{13}C e ^{1}H e a possível confirmação da estrutura utilizando a ferramenta rede neural (ANN-PRA) [27,28].

2. OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é combinar pela primeira vez de cálculos teóricos de RMN de ^{13}C e ^{1}H (baseados em regressões lineares), a ferramenta rede neural (ANN-PRA) e dados experimentais para a resolução da estrutura da savinina.

3. METODOLOGIA

Utilizamos a savinina, substância isolada da espécie *Zanthoxylum monogynum*. Os dados experimentais foram obtidos em clorofórmio deuterado. Todos os cálculos teóricos foram realizados em nível mPW1PW91/6-31G* sem levar em consideração os efeitos do solvente, exceto dos realizados utilizando a ferramenta de rede neural ANN-PRA. Todos os cálculos quânticos foram realizados usando o programa Gaussian09 [29]. Cálculos de frequência vibracional confirmaram a natureza dos

pontos estacionários como verdadeiros pontos de mínimo. Para a realização dos cálculos dos tensores isotrópicos de blindagem nuclear (σ) usou-se como referência o tetrametilsilano (TMS). Utilizou-se o método GIAO. Os deslocamentos químicos calculados (δ_{calc}) são calculados como as diferenças entre os σ dos núcleos e os átomos correspondentes de tetrametilsilano (TMS, σTMS), que geralmente é usado como um composto de referência padrão para ^{1}H e ^{13}C RMN. Para validar a correlação linear entre os deslocamentos químicos calculados e experimentais, foram realizadas análises estatísticas dos resultados obtidos. Assim, para observar a exatidão e precisão das correlações, foram calculados os seguintes descritores a partir dos dados δ_{calc}, δ_{scal} e experimental: desvio médio absoluto (MAD) e quadrado médio da raiz (RMS). Foi utilizada outra ferramenta chamada rede neural (ANN-PRA), onde se utilizou os dados previamente gerados, o que indicaria ser ou não a estrutura esperada. Todos os dados experimentais de RMN foram obtidos com clorofórmio deuterado.

4. RESULTADOS

A figura 1 representa a estrutura bidimensional da molécula de savinina. Nas tabelas 1 e 2 são apresentados os dados experimentais e os resultados dos cálculos de δ_{calc}, δ_{scal} (em ppm) para ^{1}H e ^{13}C, respectivamente. Outrossim, são mostrados os valores de MAD e RMS (em ppm).

Figura 1 – Estrutura da Savinina

Tabela 1 – Dados de RMN de ^{1}H

Hidrogênio	&*calc*	&*scal*	&*exp*
2	6,81500	6,77	7.01
5	6,91920	6,87	6,85
6	7,63180	7,57	7,06
7	7,36600	7,31	7,50
2’	6,75170	6,71	6,64
5’	6,68510	6,64	6,71
6’	6,81000	6,76	6,61
7’ a/b	2,32740	2,37	2,57
7’ a/b	3,18320	3,21	2,97
8’	3,38680	3,41	3,75
9’a/b	4,26280	4,27	4,12
9’a/b	3,93570	3,95	4,23
OCH_2O	6,26395	6,23	6,02
OCH_2O	6,16155	6,13	5,90
MAD	0,21	0,21	
RMS	0,26	0,24	

Tabela 2 – Dados de RMN de ^{13}C

Carbono	&*calc*	&*scal*	&*exp*
1	124,9	129,9	128,3
2	111,3	115,6	108,8
3	142,9	148,8	148,5
4	143,5	149,8	
5	105,2	109,2	109,0
6	119,0	123,7	126,0
7	133,8	139,3	137,5
8	123,1	128,0	126,3
9	164,0	170,9	172,7
1’	127,8	133,0	131,6
2’	104,6	108,6	109,3
3’	143,1	149,0	148,1
4’	141,5	147,3	146,7
5’	104,8	108,8	108,7
6’	119,7	124,4	122,2
7’	37,9	38,5	37,4
8’	44,1	45,1	40,1
9’	65,9	68,0	69,7
OCH_2O	101,7	105,6	101,9
	100,9	104,7	101,2
MAD	4, 06	1,80	
RMS	4,50	2,44	

A tabela 3 foi gerada com base nos dados fornecidos pela abordagem AN-PRA.

Tabela 3 – Dados experimental e teórico da Rede Neural AN-PRA para ^{1}H, ^{13}C e HSQC

^{1}H & ^{13}C				HSQC	
	TMS	MSTD		TMS	MSTD
MAE	4,05	1,34	**M-h**	2,70	1,48
σ	2,32	1,57	**M-α**	1,33	1,10
MaxErr	9,28	6,60	**σ-h**	2,11	1,82
R2	1,00	1,00	**Max-h**	6,88	6,60
m	0,93	0,99	**CM-h**	1,94	1,71
b	4,90	2,37	**CM- α**	1,38	1,52
CMAE	1,30	1,26	**C σ-h**	1,01	1,29
C σ	1,18	1,22	**CMax-h**	4,86	5,56
CMaxErr	4,86	5,56	**Q1**	0,57	0,07
MAE	0,18	0,16	**Q2**	0,29	0,29
σ	0,14	0,12	**Q3**	0,07	0,29
MaxErr	0,31	0,42	**Q4**	0,07	0,36
R2	0,99	0,99	**MQ**	1,00	4,00
m	1,05	1,04	**Q1_sc**	0,43	0,36
b	-0,40	-0,22	**Q2_sc**	0,14	0,29
CMAE	0,13	0,15	**Q3-sc**	0,29	0,07
C σ	0,10	0,10	**Q4_sc**	0,14	0,29
CMaxErr	0,30	0,32	**MQ-sc**	1,00	1,00

Fonte: Os Autores.

5. DISCUSSÃO

Com base nas análises dos dados percebe-se que há boa reprodução dos dados experimentais, os erros são muito pequenos. Isto indica que de fato que a molécula isolada é a savinina (figura 1). O fator de correção para o ^{13}C diminui de forma mais notável os erros do que aquele utilizado para ^{1}H. No que se refere à análise da ANN-PRA, os resultados continham 72 parâmetros de saída, que foram calculados em dois padrões de referência o TMS e o MSTD (multireferências), levando à conclusão de que a molécula isolada corresponde a estrutura da savinina.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados dos cálculos teóricos e dados experimentais isolou-se a molécula da savinina. A combinação dos protocolos escalonamento de ^{13}C e ^{1}H, juntamente com a rede neural, pode ser uma ferramenta, de baixo

custocomputacional e de grande valia para a confirmação de estruturas de produtos naturais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

REFERÊNCIAS

[1] Charlton, J.L. **1998**. Antiviral activity of lignans. *Journal Natural Products*, 61(11), p.1447-1451

[2] Moss, G.P. **2000**. Nomenclature of lignanas and neolignans. *Pure and Applied Chemistry*, 72(8), p.1493-1523.

[3]. Jain, R., Bally, T. and Rablen, P.R. **2009**. Calculating Accurate Proton Chemical Shifts of Organic Molecules with Density Functional Methods and Modest Basis Sets. *The Journal of Organic Chemistry*, 74(11), p.4017–4023.

[4] de Albuquerque, A.C.F., Ribeiro, D.J. and de Amorim, M.B. **2016**. Structural determination of complex natural products by quantum mechanical calculations of ^{13}C NMR chemical shifts: development of a parameterized protocol for terpenes. *Journal of Molecular Modeling*, 22(8), pp.183-189.

[5] Costa, F.L.P, Fernandes, S.B.deO., Fingolo, C.E., Boylan, F., de Jesus Chaves Neto, A.M., Mota, G.V.daS., Soares, B.A., Siqueira, M.R.S and Giacomello, T.F., **2020**. Experimental and Theoretical Nuclear Magnetic Resonance Data from Tryptanthrin, an Alkaloid with Potential Activity Against Human Coronavirus. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 12 (7), pp.963-969.

[6] Jalowitzki, S.A, Giacomello, T.F., Mota, G.V.daS., de Jesus Chaves Neto, A.M. and Costa, F.L.P., **2020**. An Application of the PCM Model for Obtaining Chalcones Magnetic Properties. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 12 (7), pp.939-950.

[7] Cardoso, E.F., de Albuquerque, A.C.F., de Jesus Chaves Neto, A.M., Mota, G.V.daS. and Costa, F.L.P., **2020**. Gauge-Including-Atomic-Orbitals-mPW1PW91/6-31G(d) Scaling Factor as a Satisfactory Cost-Effectiveness Ratio for H-1 Nuclear Magnetic Resonance Chemical Shift Calculations. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 12 (8), pp. 1095-1101.

[8] Rocha, R. A. deM., Giacomello, T.F., de Jesus Chaves Neto, A.M., Mota, G.V.daS. and Costa, F.L.P., **2020**. Diferenciação de Triterpenos Regiosoméricos por Meio de Cálculos de Deslocamento Químico de RMN de ^{13}C. *Revista Virtual de Química*, 12(4), pp. 969-980.

[9] Giacomello, T.F., Mota, G.V.daS., de Jesus Chaves Neto, A.M. and Costa, F.L.P., **2020**. Use of Replaced Chalcones to Generate a ^{13}C Chemical Shift Staging Factor for Chalcone and Its Derivate. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 12(4), pp.464-472.

[10] Souza, S.S., Martins, M.A.deS., Neto, A.M.deJ.C.; Mota, G.V.daS. And Costa, F.L.P., **2020**. Systematic Gauge-Including Atomic Orbital-Hybrid Density Functional Theory Linear Regressions for ^{13}C NMR Chemical Shifts Calculation. *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 12(3), pp.364-370.

[11] Prado, G.daS., Giacomello, T.F., Wulff, L.B., Siqueira, M.R.S., Mota, G.V.daS., Neto, A.M. deJ.C., Moraes, E.dosS. and Costa, F.L.P., **2019**. Chemical discharge of ^{13}C calculated for efavirenz. *Brazilian Journal of Development*, 5(11), pp.25698-25703.

[12] Wulff, L.B., Prado, G.daS., Giacomello, T.F., Siqueira, M.R.S., Mota, G.V.daS., Neto, A.M. deJ.C., Moraes, E.dosS. and Costa, F.L.P., **2019**. Oseltamivir, a 13C chemical displacement correlation. *Brazilian Journal of Development*, 5(12), pp. 32129-32135.

[13] Costa, F.L.P., Fernandes, S.B.deO.; Fingolo, C.E., Boylan, F. and Mota G.V.daS., **2017**. Tryptanthrin (indolo [2,1-b] quinazoline-6,12-dione) Isolation from Leaves of *Couroupita guianensis* and Its Characterization by NMR Experimental and GIAO-DFT Data. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 14(5), pp.2383-2388.

[14] Costa, F.L.P., Giacomello, T.F., de Morais Rocha, R.A., de Jesus Chaves Neto, A.M. and Mota, G.V.D.S., **2017**. Very Fast and Surprisingly Accurate GIAO-mPW1PW91/3-21G//PM7 Scaling Factor for ^{13}C NMR Chemical Shifts Calculation. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 9(3), pp.254–61.

[15] Giacomello, T.F., de Morais Rocha, R.A., de Jesus Chaves Neto, A.M., Mota, G.V.daS. and Costa, F.L.P., **2017**. Protocol for Calculating ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance Chemical Shifts of Flexible Organic Molecules. *Advance Science, Engineering and Medicine*, 9(8), pp. 640–647.

[16] Costa, F.L.P., de Fernandes, S.B.O., Fingolo, C.E., Boylan, F., de Albuquerque, A.C.F., dos Santos Junior, F.M., de Amorim, M.B., **2016**. Isolation, Identification, Relative Configuration and Conformational Analysis of Loliolide by GIAO-HDFT ^{1}H and ^{13}C NMR Chemical Shifts Calculations, *Quantum Matter*, 5(5), pp.675-679.

[17] Costa, F.L.P., de Albuquerque, A.C.F., Borges, R.M., dos Santos Junior, F.M. and de Amorim, M.B., **2014**. High Cost-Effectiveness Ratio: GIAO-MPW1PW91/6-31G(d)//MPW1PW91/6-31G(d) Scaling Factor for ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance Chemical Shifts Calculation. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 11(1), pp.219–225.

[18] Costa, F.L.P. and de Amorim, M.B., **2011**. GIAO-B3LYP low computational cost scaling factor for ^{13}C NMR chemical shifts calculation. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 8(7), pp.1166-1172.

[19] Costa, F.L.P., De Albuquerque, A.C.F., Dos Santos, F.M. and de Amorim, M.B., **2010**. GIAO-HDFT scaling factor for ^{13}C NMR chemical shifts calculation. *Journal of Physical Organic Chemistry*, 23(10), pp.972–977.

[20] Dos s., F., Velozo, L., De Carvalho, E., M., A., Borges, R., Trindade, A., Dos Santos, M., de Albuquerque, A., Costa, F., Kaplan, M., De Amorim, M., **2013**. 3-Ishwarone, a Rare Ishwarane Sesquiterpene from Peperomia scandens Ruiz. Molecules (Basel. Online), 18 (11), pp. 13520-13529.

[21] Mota, E.A.V., Neto, A.F.G., Marques, F.C., Mota, G.V.S., Martins, M.G., Costa, F.L.P., Borges, R.S. and Neto, A.M.J.C. **2018**. Time-Dependent Density Functional Theory Analysis of Triphenylamine-Functionalized Graphene Doped with Transition Metals for Photocatalytic Hydrogen Production. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology,* 18(7) pp.4987-4991.

[22] Costa, F., **2006**. Electronic structure study of the reaction $C_2H_4^+ \rightarrow C_2H_2^+ + H_2$. *International Journal of Quantum Chemistry*, 106(13), pp.2763–2771.

[23] Mota, G.V. daS., Oliveira, C. X., Neto, A.M.J.C. and Costa, F.L.P, **2012**. Inclusion Complexation of Praziquantel and -Cyclodextrin, Combined Molecular Mechanic and Monte Carlo Simulation. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 9(8), pp.1090-1095.

[24] Costa, F.L. P. and de Amorim, M.B. **2010.** Theoretical Study on Styrenes Planarity: Styrene and p-Hydroxi-Styrene. *Advanced Science Letters*, 3(4) pp.507-511.

[25] Costa, F.L.P, Gomes, P.F., Silva, A.K. and Lião, L. M., **2017**. Conformational Analysis, Experimental and GIAO-DFT ^{13}C NMR Chemical Shift Calculation on 2'-Hydroxy-3,4,5-trimethoxy-chalcone. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 28(11) pp.2130-2135.

[26] Mansoor, T.A., Borralho, P.M., Luo, X., Mulhovo, S., Rodrigues, M.P. and Ferreira, M.U. **2013**. Apoptosis inducing activity ofbenzophenanthridine-type alkaloids and 2 arylbenzofuran neolignans in HCT116 colon carcinoma cells. *Phytomedicine*, 20(10), p.923–929.

[27] Zanardi, M. M. and Sarotti, A. M.; J. **2015**. GIAO C–H COSY simulations merged with artificial neural networks pattern recognition analysis. *The Journal of organic chemistry*, 80(19), p.9371-9378.

[28] Costa, F.L.P.,de Albuquerque, A.C.F., Fiorot, R.G., Lião, L.M., Martorano, L.H., Mota, G.V.S., Valverde, A.L., Carneiro, J.W.M. and dos Santos Junior, F.M., **2021**. Structural characterisation of natural products by means of quantum chemical calculations of NMR parameters: new insights. *Organic Chemistry Frontiers*, http://dx.doi.org/10.1039/D1QO00034A.

[29] Frisch, M.J., Trucks, G.W., Schlegel, H.B., Scuseria, G.E., Robb, M.A., Cheeseman, J.R., Scalmani, G., Barone, V., Mennucci, B., Petersson, G.A., Nakatsuji, H., Caricato, M., Li, X., Hratchian, H.P., Izmaylov, A.F., Bloino, J., Zheng, G., Sonnenberg, J.L., Hada, M., Ehara, M., Toyota, K., Fukuda, R., Hasegawa, J., Ishida, M., Nakajima, T., Honda,Y., Kitao, O., Nakai, H., Vreven, T., Montgomery, J.A., Peralta, J.E., Ogliaro, F., Bearpark, M., Heyd, J.J., Brothers, E., Kudin, K.N., Straroverov, V.N., Kobayashi, R., Normand, J., Raghavachari, K., Rendell, A., Burant, J.C., Iyengar, S.S., Tomasi, J., Cossi, M., Rega, N., Millam, J.M., Klene, M., Knox, J.E., Cross, J.B., Bakken, V., Adamo, C., Jaramillo, J., Gomperts, R., Stratmann, R.E., Yazyev, O., Austin, A.J., Cammi, R., Pomelli, C., Ochterski, J.W., Martin, R.L., Morokuma, K., Zakrzewski, V.G., Voth, G.A., Salvador, P., Dannenberg,

J.J., Dapprich, S., Daniels, A.D., Farkas, Foresman, J.B., Ortiz, J.V., Cioslowski, J. and Fox, D.J., **2009**. Gaussian 09, revision b.01.

CAPÍTULO 06

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES POLISSACARÍDEOS COMO DEPRESSORES NA FLOTAÇÃO ANIÔNICA DIRETA DE MINÉRIO FOSFÁTICO ULTRAFINO

Amanda Aparecida Carneiro
Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Min. Olavo Drummond, 25 - Amazonas, Araxá – MG
E-mail: amandaap_carneiro@hotmail.com.br

Adriele Mércia Alves Santos
Graduanda em Engenharia de Minas
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Min. Olavo Drummond, 25 - Amazonas, Araxá - MG
E-mail: adrielemerciaa@gmail.com

João Victor da Silva Alves
Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Min. Olavo Drummond, 25 - Amazonas, Araxá – MG
E-mail: joaoalves@cefetmg.br

Michelly dos Santos Oliveira
Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Minas Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Min. Olavo Drummond, 25 - Amazonas, Araxá - MG
E-mail: michelly@cefetmg.br

Mario Guimarães Junior
Doutor em Engenharia de Materiais
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Min. Olavo Drummond, 25 - Amazonas, Araxá – MG
E-mail: mgjunior@cefetmg.br

RESUMO: A utilização de materiais de baixo custo, ambientalmente corretos e que garantam a eficiência dos processos industriais vem sendo tema de várias pesquisas. Na flotação, o emprego de materiais mais sustentáveis e de baixo custo, como depressores, pode ser uma alternativa rentável e eficiente tecnologicamente. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi utilizar um resíduo amiláceo como depressor na flotação de minério fosfático, comparando os resultados obtidos com 5 (cinco) amidos comerciais de diferentes origens botânicas. Ensaios de flotação, utilizando-se 6 (seis) amostras diferentes (A1 a A6), foram realizados em duplicata. A amostra A5 (resíduo), produziu um concentrado com cerca de 66,6% de recuperação metalúrgica, enquanto as amostras A3 e A6; 62,9% e 49,2%, respectivamente. Os teores de P_2O_5 obtidos para as amostras mencionadas ficaram em torno de 27,9%; 28,1% e 26,6%, respectivamente. Após análise estatística (ANOVA), verificou-se que não houve variação significativa ao nível de 5%, para teor de P_2O_5 e recuperação metalúrgica, com exceção da amostra A6, que apresentou os menores valores para os parâmetros citados. Os resultados encontrados abrem novas possibilidades para utilização de

resíduos na flotação, uma vez que podem ser utilizados diretamente no processo de gelatinização, sem nenhum tipo de tratamento prévio ou modificações químicas.

PALAVRAS-CHAVES: Minério Fosfático; Flotação; Depressor; Amidos; Resíduos amiláceos.

ABSTRACT: Several searches have been presenting the use of low-cost and environmentally friendly materials that guarantee efficiency in industrial processes. In flotation, the utilization of more sustainable and low-cost materials, such as depressants, can be a profitable and technologically efficient alternative. Therefore, the research's objective was to use an amylaceous residue as a depressant in the phosphate ore flotation. The work evaluated 5(five) commercial starches from different botanical geneses and compared their results. Flotation tests, using 6 (six) different samples (A1 to A6), were performed in duplicate. Sample A5 (residue) produced a concentrate with about 66.6% of the metallurgical recovery, while samples A3 and A6, 62.9% and 49.2%, respectively. The levels of P_2O_5 obtained for the mentioned samples were around 27.9%, 28.1%, and 26.6%, respectively. After statistical analysis (ANOVA), the results indicated there wasn't significant variation at the level of 5%, for P_2O_5 content and metallurgical recovery, except for sample A6, which had the lowest values for the parameters mentioned. Since the residue doesn't require any previous treatment or chemical modifications before the gelatinization process, the results open up new possibilities for using residues in flotation.

KEYWORDS: Phosphate Ore; Flotation; Depressant; Starches; Amylaceous residues.

1. INTRODUÇÃO

A gestão das organizações cada vez mais se volta para a busca de novas ferramentas que as mantenham no mercado. Novas estratégias como a sustentabilidade integrada à preservação ambiental, bem-estar social e o desenvolvimento econômico, fazem parte dessa nova gestão, proporcionando a empresa um maior envolvimento com o futuro, que atrelado a sustentabilidade, faz com que o modelo de negócio proposto considere tanto as questões ambientais, quanto as sociais, tão relevantes quanto as questões financeiras (KNEIPP *et al.,* 2012).

Neste contexto, a preocupação ambiental na indústria mineral brasileira vem se intensificando nos últimos anos. As empresas têm buscado uma produção mais sustentável através da redução de emissões atmosféricas nocivas, contaminantes tóxicos em descargas de efluentes e geração de resíduos. A conservação da matéria-prima, água e energia, bem como a substituição de reagentes prejudiciais ao meio ambiente e a saúde, por outros biodegradáveis, também são estratégias que vêm sendo adotadas (HILSON, 2000).

Neste cenário, para que haja uma separação mais seletiva dos minerais, com consequente concentração do mineral-minério no processo de flotação, torna-se necessário a utilização de alguns reagentes, entre eles, os depressores, que são responsáveis por tornar a superfície dos minerais, que não se deseja flotar, mais hidrofílicas. Os depressores podem ser orgânicos ou inorgânicos, sendo os orgânicos mais vantajosos devido a sua estabilidade, baixo custo, biodegradabilidade e atoxidade. Na flotação de minério fosfático brasileiro, o principal depressor utilizado é o amido (PERES; ARAUJO, 2006; SOUZA *et al.,* 2014).

Apesar do baixo valor, o alto consumo de amido pelas usinas de beneficiamento de fosfato acarreta gastos elevados. Assim, para seleção do depressor, vários fatores devem ser considerados, não apenas sua performance, mas também seu custo, disponibilidade, biodegradabilidade, toxidade, características do minério e do coletor empregado, entre outras (TURRER, 2007).

Como alternativa aos depressores atualmente empregados na flotação catiônica reversa de minério de ferro, avaliou-se a aplicação de um resíduo produzido por uma indústria alimentícia. Segundo estudos, o resíduo em dosagens maiores que 1600 mg/L poderia apresentar potencial para deprimir as partículas de hematita (SILVA

et al., 2015). Da mesma maneira, resíduos provenientes do bagaço de cana de açúcar, bem como da água residual de mandioca, também mostraram forte potencial para depressão de hematita, em substituição ao amido comercial já empregado, tornando-os alternativas sustentáveis (MARINS *et al.*, 2020).

Segundo pesquisas realizadas em fontes específicas da literatura, ainda é escasso o número de estudos que investigam resíduos como depressores na flotação de minério fosfático. Atualmente, as pesquisas estão voltadas para a avaliação de polissacarídeos comerciais, obtidos de diferentes fontes botânicas.

Nos municípios de Araxá e Perdizes, ambos localizados na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, foi implantada, a alguns anos atrás, uma grande Empresa ligada a indústria de alimentos, com capacidade de produzir anualmente, cerca de 250 mil toneladas de batatas pré-fritas. Esta operação gera, através do processo industrial de transformação, vários tipos de resíduos, dentre eles, a polpa da batata, de onde é extraído o resíduo amiláceo, que, após decantado e centrifugado, é estocado em sacos trançados de polipropileno tipo “big-bag” de 50 L.

Visando agregar benefícios econômicos e ambientais, o trabalho teve como objetivo avaliar a utilização deste tipo de resíduo como depressor na flotação aniônica direta do minério fosfático ultrafino, comparando os resultados obtidos com outros 5 (cinco) tipos diferentes de amidos comerciais, incluindo uma amostra empregada em usinas de beneficiamento de minério fosfático no Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

Utilizou-se amostra de minério fosfático ultrafino com 10,77% de P_2O_5; 2,93 g/cm^3 de densidade e distribuição granulométrica com cerca de 80% das partículas menores que 75 µm (Fig. 1). Para a realização dos ensaios, desde a preparação dos reagentes até o processo de flotação, seguiu-se a metodologia dos trabalhos desenvolvidos no CEFET/MG, Campus Araxá (ALVES, 2016; COUTINHO, 2016; SANTOS, 2017).

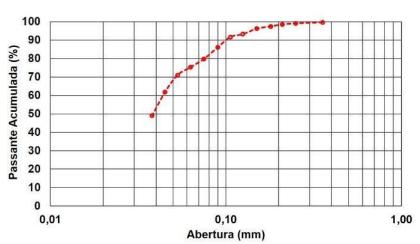



Figura 1 - Distribuição Granulométrica do Minério Fosfático Ultrafino

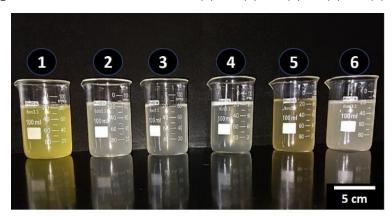
As amostras de polissacarídeos (A1 a A6) são provenientes de várias empresas localizadas em diversas regiões do Brasil e originárias de distintas fontes botânicas. A1: amido de milho utilizado no processo de flotação industrial; A2: amido de milho comercial; A3: amido de mandioca modificado; A4: amido de milho comercial waxy; A5: amido de batata residual e A6: amido de arroz hidrolisado. Relação amilopectina/amilose:A4>A6>A3>A2>A1>A5.

3. MÉTODOS

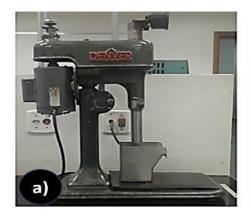
Preparação dos reagentes

Para a saponificação do óleo vegetal Hidrocol, utilizado como coletor aniônico da apatita, foi empregada uma relação óleo: soda igual a 7:1, obtendo-se uma solução com concentração de 2,5% (m/m). A dosagem empregada ao longo dos testes foi de 250g/t.

Para a gelatinização das 6 (seis) amostras de polissacarídeos (A1 a A6) (Fig. 2), empregou-se uma relação amido:soda de 4:1, obtendo-se concentrações de 3% (m/m) de amido. A dosagem adotada para os ensaios foi de 500 g/t.

Figura 2 - Amostras Gelatinizadas: (1) A1, (2) A2, (3) A3 (4) A4, (5) A5, (6) A6

Condicionamento e flotação

Objetivando a interação dos reagentes com os minerais presentes na amostra, a fim de possibilitar a flotação das partículas de apatita, realizou-se primeiramente o condicionamento da polpa. Para realização dos testes foi utilizada a célula de flotação Denver, conforme mostra a Figura 3a. Inicialmente o depressor foi inserido e o minério condicionado durante 5 min. O coletor foi então inserido e os minerais, condicionados por 2 min. No condicionamento adotou-se 50% de sólidos (fração mássica) para a polpa,enquanto na flotação, 25%. O pH foi mantido em 9,5 mediante solução de NaOH (10% m/v), conforme mostra a Figura 3b.

Figura 3 - (a) Célula de Flotação Denver; (b) Ajuste de pH da Polpa Através de Solução Alcalina

Durante o início do processo de flotação, a válvula para entrada de ar foi aberta ea espuma gerada, raspada até a formação de bolhas já desmineralizadas e em pequena quantidade. Para cada amostra gelatinizada foi realizado o teste de flotação em duplicata,totalizando 12 ensaios. No final de cada um deles, os concentrados e rejeitos foram enviados para caracterização química, com resultados

semiquantitativos, por meio de um espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por energia dispersiva (FRX) de marca Shimadzu modelo Ray Ny EDX 720, sob vácuo primário com pressão de 2 x 10^{-2} mBar. O material utilizado foi o passante na peneira de abertura 0,074mm, sendo compactados em porta-amostras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de recuperação metalúrgica e teores de P_2O_5 estão mostrados na Figura 4. Os valores médios apresentados foram calculados através das duplicatas de cada um dos ensaios.

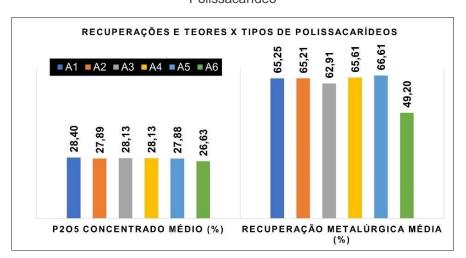



Figura 4 - Valores Médios de Teor de P_2O_5 e Recuperação Metalúrgica Média para cada Polissacarídeo

De acordo com a figura 4 observou-se que as amostras (A1), (A2), (A4) e (A5) se destacaram das demais, por terem apresentado melhor desempenho na flotação, com destaque para a amostra (A5), que produziu um concentrado com 66,61% de recuperação metalúrgica média e teor médio de P_2O_5 de 27,88%. Para estes parâmetros, a amostra (A6) foi a que apresentou o menor teor de P_2O_5 médio (26,63%) e menor recuperação metalúrgica (49,20%). Assim, constatou-se que a amostra (A6) não deprimiu somente os minerais de ganga, como também a apatita, não se mostrando uma boa alternativa para flotação direta de minério fosfático.

Objetivando comparar estatisticamente os resultados obtidos para cada um dos depressores, foram realizados testes de hipótese empregando o modelo Tukey, através da ferramenta de Análise de Variância (ANOVA), disponível no software

Minitab. Para issoempregou-se um intervalo bilateral com nível de confiança igual a 95%. Essa verificaçãoé de grande relevância, uma vez que os testes podem ser afetados por efeitos aleatórios levando ao aumento e/ou redução numérica das resultantes analisadas. Por este motivo, optou-se pelo teste Tukey, por ser mais conservador, na redução da ocorrência do Erro Tipo I, quando se rejeita a hipótese de que os dados são estatisticamente iguais (hipótese nula), sendo ela verdadeira (SOUSA *et al.*, 2012).

Durante a realização do teste Tukey para os teores de P_2O_5 dos concentrados (Tab.1), percebeu-se que os valores apresentados para as amostras A1, A2, A3, A4 e A5, apesar de distintos numericamente, não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5%, sendo, portanto, iguais estatisticamente. A mesma conclusão foi adotada para os amidos A2, A5 e A6. Analisando em especial as amostras A1 (amido utilizado industrialmente na flotação de minério fosfático) e A5 (amido oriundo de resíduo alimentício), observou- se que o teor de P_2O_5 produzido pela amostra A1 é estatisticamente igual ao teor produzido pela amostra A5, ou seja, o amido residual se mostrou tão eficiente quanto o amido industrial no processo de flotação aniônica, se revelando um material com elevado potencial de aplicação no meio industrial, por contribuir na redução de custos durante o processo de flotação deste tipo de minério fosfático ultrafino.

Quanto aos resultados de recuperação metalúrgica (Tab. 1), constatou-se que nãohouve variação significativa ao nível de 5% para as amostras A1 a A5. A exceção foi novamente observada para a amostra A6, que apresentou variação significativa em relação as outras amostras, demonstrando claramente obter menor recuperação em relação as demais.

Tabela 1 - Comparação Estatística das Amostras para o Teor de P_2O_5 e Recuperação Metalúrgica

Concentrado		Teor de P_2O_5 (%)			Recuperação Metalúrgica (%)		
Amido	N	Média	Agrupamento		Média	Agrupamento	
A1	2	28,401	A		65,250	A	
A2	2	27,886	A	B	65,210	A	
A3	2	28,126	A		62,911	A	
A4	2	28,131	A		65,610	A	
A5	2	27,871	A	B	66,610	A	
A6	2	26,626		B	49,200		B

Médias que não compartilham a mesma letra na coluna vertical são significativamente diferentes.

Os teores de P_2O_5 mostrados na Figura 4 e Tabela 1, para os concentrados fosfáticos obtidos, apresentaram-se inferiores aos exigidos pela indústria de fertilizantes (> 30-33% P_2O_5) (SANTANA *et al.,* 2011). Com exceção do teor apresentado pela amostra (A6), todos as demais registraram tendências de valores constantes, considerandoo valor absoluto igual a 28%. Isso demonstra a necessidade de inserir etapas de limpeza (cleaner e recleaner) no circuito de flotação para que o padrão de qualidade seja alcançado. Entretanto, vale ressaltar o desempenho semelhante obtido pela amostra residual (A5), em relação as amostras comerciais, inclusive sobre a que é empregada atualmente na indústria de flotação de minério fosfático (A1).

Os dados apresentados na Figura 4 e Tabela 1 são compatíveis com aqueles já citados na literatura. Souza *et al*. (2014) avaliaram oito tipos de depressores (hexametafosfato de sódio, silicato de sódio, amido de milho, amido de mandioca, amido modificado I, amido modificado II, dextrina e carboximetilcelulose) na flotação aniônica direta de um minério fosfático sílico-carbonatado, com 17,2% de P_2O_5, utilizando célula de flotação. As dosagens de depressor foram variadas entre 100 e 600 g/t. Após a realização dos ensaios, os teores dos concentrados variaram entre 23 e 31% de P_2O_5, enquanto as recuperações metalúrgicas ficaram entre 44 e 83%. Para a dosagem de 500 g/t de amido de milho, obteve-se um concentrado com 28% de P_2O_5 e 66% de recuperação metalúrgica. Assim, percebe-se que os resultados alcançados neste trabalho (Fig. 4) permanceram dentro destas faixas, e aqueles obtidos ao empregar os amidos de milho A1e A2, foram semelhantes ao do trabalho supracitado.

No que se refere aos contaminantes (CaO, Al_2O_3 e Fe_2O_3), a Figura 5 mostra a relação destes com os teores de P_2O_5 obtidos no concentrado de cada teste. Somente a relação Al_2O_3/P_2O_5 atingiu os valores estipulados pela indústria de fertilizantes,

permanecendo abaixo de 0,095 (OLIVEIRA, 2007; SANTANA et al., 2011). As relações CaO/P_2O_5 e Fe_2O_3/P_2O_5 ficaram acima dos valores considerados limites, iguais a 1,6 e 0,095; respectivamente, podendo ser reduzidas pela adição de etapas de flotação posteriores. Considerando o valor absoluto, a relação CaO/P_2O_5, permaneceu igual a 1,7; com exceção do polissacarídeo (A6), que se manteve em torno de 1,8. A relação Fe_2O_3/P_2O_5 se manteve igual a 0,3 para todas as amostras.

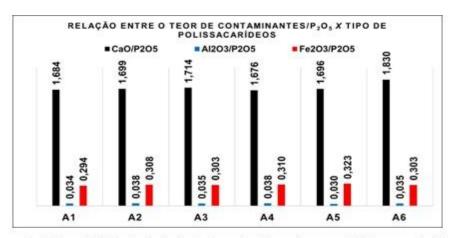



Figura 5 - Valores Médios da Relação do Teor dos Contaminantes e P_2O_5 para cada Ensaio

Analisando estatisticamente os valores encontrados para as relações entre o contaminante CaO e os teores P_2O_5 (Tab. 2), apenas a amostra A6 se mostrou distinta em relação as demais amostras, não variando estatisticamente ao nível de 5%. A utilização do amido A6 como depressor promoveu uma maior relação devido ao menor teor de P_2O_5 apresentado nos concentrados, como mostrado na Tabela 1.

Para as relações de Fe_2O_3/P_2O_5 e Al_2O_3/P_2O_5, mostradas na Tabela 2, os valores observados para todos as amostras foram iguais estatisticamente ao nível de 5%, ou seja, nenhuma se sobressaiu em relação a outra, no que se refere aos parâmetros analisados.

Tabela 2 - Comparação Estatística das Amostras para as relações CaO/P_2O_5, Fe_2O_3/P_2O_5 e Al_2O_3/P_2O_5

Concentrado		CaO/P_2O_5			Fe_2O_3/P_2O_5			Al_2O_3/P_2O_5		
Amido	N	Média	Agrupamento		Média	Agrupamento		Média	Agrupamento	
A1	2	1,684		B	0,294	A		0,034	A	
A2	2	1,699		B	0,308	A		0,038	A	
A3	2	1,714		B	0,303	A		0,035	A	
A4	2	1,676		B	0,310	A		0,038	A	
A5	2	1,696		B	0,323	A		0,030	A	
A6	2	1,830	A		0,303	A		0,035	A	

Médias que não compartilham a mesma letra na coluna vertical são significativamente diferentes.

De forma geral, ao se comparar a amostra industrialmente utilizada (A1) com a amostra residual avaliada (A5), os valores obtidos para todos os parâmetros analisados foram estatisticamente iguais, não havendo, portanto, variações significativas ao nível de 5%, segundo o teste Tukey. Este resultado demonstra o alto potencial de utilização deste resíduo na flotação industrial de minério fosfático. Portanto, a amostra (A5) pode ser uma opção viável ambiental e economicamente, já

que os custos atuais com depressores amiláceos representam cerca de 15% do valor total dos insumos necessários em usinas de beneficiamento de minério fosfático.

Outro ponto a ser analisado é a relação entre amilopectina/amilose. Como citado em Materiais e Métodos, as amostras A1 e A5 apresentaram os menores valores, quando comparados as demais amostras (A4>A6>A3>A2>A1>A5). Entretanto, os resultados obtidos não apresentaram variações significativas ao nível de 5% em relação a amostra (A4), que apresentou a maior relação dentre as amostras avaliadas. Esse resultado se mostrou diferente dos resultados encontrados em outras referências, as quais apresentaram teores de amilose e amilopectina como justificativa da ação depressora dos amidos.

No trabalho de Guimarães *et al*. (2005), os autores atribuíram à amilopectina e amilose, o principal agente ativo para ação depressora. Nunes e Peres (2011), justificaram essa atividade depressora direcionada à amilose e à amilopectina pela presença, principalmente, dos grupos OH em suas estruturas e ao seu alto peso molecular.

Leal Filho *et al*. (1990), avaliaram diversos reagentes depressores na flotação de minério fosfático e mostraram que o amido com 95% de amilopectina atingiu recuperação 5% maior em relação a um outro amido convencional, com 24% de amilose e 75% de amilopectina.

No estudo de Peres e Correa (1996), os autores analisaram diferentes tipos de amidos, em especial, a ação dos seus componentes individuais na microflotação de hematita e quartzo. Na análise desses estudos, os autores concluíram que a zeína, proteína constituinte do milho, obteve uma ação depressora considerável, tanto quanto amidos com alto teores de amilopectina. Dessa forma, analisando os valores obtidos no presente trabalho e comparando-os com os apresentados na literatura, leva-se a crer que outros constituintes ou fatores presentes nestas amostras amiláceas, influenciaram o processo de adsorção das partículas, e não somente o teor de amilose/amilopectina.

5. CONCLUSÃO

Dentre os polissacarídeos analisados, a amostra residual (A5) se mostrou tão eficiente quanto os demais, com valores similares de teor de P_2O_5 e recuperação metalúrgica. O depressor (A6) não foi eficiente para o minério fosfático, promovendo

baixa recuperação metalúrgica. De acordo com metodologia utilizada, o trabalho aventa a possibilidade de outros constituintes/fatores, presentes no amido, afetarem a depressão dos minerais de ganga presentes no minério fosfático, e não apenas a amilose e amilopectina. Entretanto, mais estudos e investigações precisam ser realizados para confirmação deste antagonismo. A análise estatística mostrou que os depressores, exceto o (A6), produziram concentrados com teores e recuperações sem variações significativas ao nível de 5% de acordo com o teste Tukey, indicando a alta potencialidade de aplicaçãoda amostra residual na flotação de minério fosfático, em substituição ao amido comercialatualmente empregado. As amostras residuais de polissacarídeos podem ser utilizadas diretamente no processo de gelatinização, sem tratamentos prévios ou modificações químicas, necessitando apenas de desaguamento e secagem.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. P.; SILVA, L. A.; OLIVEIRA, M. S.; CAPPONI, F. N. Ensaios exploratórios em coluna de flotação de Bancada com minério fosfático ultrafino. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, p. 1-8, 2016.

COUTINHO, Nathália Augusta Ferreira Sales. **Otimização do processo de flotação dominério fosfático sílico-carbonatado de Araxá-MG**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológicade Minas Gerais, Araxá, 2016.

GUIMARÃES R. C.; ARAUJO, A. C.; PERES, A. E. C. Reagents in igneous phosphateores flotation. **Minerals Engineering**, v. 18, p. 199-204, 2005.

HILSON, G. Pollution prevention and cleaner production in the mining industry: an analysis of current issues. **Journal of Cleaner Production**, v. 8, p. 119-126, 2000.

KNEIPP, J. M.; GOMES, C. M.; BICHUETI, R. S.; MACCARI, E. A. Gestão para a sustentabilidade em empresas do setor mineral. **Revista de Ciências da Administração**,v. 14, n. 33, p. 52-67, 2012.

LEAL FILHO, L. S.; PERES, A. E. C.; OLIVEIRA, R. N. DAMASCENO, A. H. T. Estudo de novos depressores para a flotação aniônica direta de fosfato de Jacupiranga. *In*:ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 14., 1990, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: 1990. p. 422-434.

MARINS, T. F.; RODRIGUES, O. M. S.; REIS, E. L. Utilising starches from sugarcaneand cassava residues as hematite depressants. **Minerals Engineering**, v. 145, 1-5, 2020.

NUNES, A. P. L.; PERES, A. E. C. **Reagentes depressores de carbonatos: uma revisão**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2011.

OLIVEIRA, Michelly dos Santos. **Minério fosfático sílico-carbonatado:** Estudo fundamental. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola deEngenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PERES, A. E. C.; ARAUJO, A. C. A flotação como operação unitária no tratamento de minérios. *In*: CHAVES, A. P. (org.). **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios:** Flotação O Estado da Arte no Brasil. São Paulo: Signus, 2006. p. 1-29.

PERES, A. E. C.; CORREA, M. I. Depression of iron oxides with corn starches. **Minerals Engineering**, v. 9, n. 12, p. 1227-1234, 1996.

SANTANA, R. C.; DUARTE, C. R.; ATAÍDE, C. H.; BARROZO, M. A. S. Flotation selectivity of phosphate ore: effects of particle size and reagent concentration. **SeparationScience and Technology**, v. 46, p. 1511-1518, 2011.

SANTOS, Kamylla Ferreira. **Flotação de minério fosfático sílico-carbonatado**.

2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federalde Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2017.

SILVA, L. C. R.; RODRIGUES, O. M. S.; PEREIRA, C. A.; PEREIRA, V. B. Aplicação de resíduo da indústria alimentícia, como depressor de hematita. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 26., 2015, Poços de Caldas. **Anais [...]**. Poços de Caldas: 2015. p. 1-9.

SOUSA, C. A.; LIRA JUNIOR, M. A.; FERREIRA, R. L. C. Avaliação de testes estatísticos de comparações múltiplas de médias. **Revista Ceres**, v. 59, n.3, p. 350-354, mai/jun, 2012.

SOUZA, A. L.; ALBUQUERQUE, R. O.; LAMEIRAS, F. S.; PRAES, P. E.; PERES, A. E. C. Use of depressants in the direct flotation of a silicate-carbonate phosphate ore. **Revista Escola de Minas,** v. 67, n. 2, p. 191-196, abr./jun. 2014.

TURRER, Henrique Dias Gatti. **Polímeros depressores na flotação de minério de ferro**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia,Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CAPÍTULO 07

UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A IDEIA DE NÚMERO

Márcio Roberto Rocha Ribeiro
Doutor em Matemática pela Universidade de Brasília (UnB)
Instituição: Universidade Federal de Catalão – UFCAT
Endereço: Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, setor Uni. – CEP:75704-020
E-mail: marcio.ribeiro@ufcat.edu.br

Fabrício Oliveira Silva
Mestre em Matemática pela Universidade Federal de Goiás (UFG)Instituição:
Escola Estadual Osmundo Gonzaga Filho
Endereço: R. 29 Q. 28 L. 14, S/N, Estância Boa Vista, Caldas Novas/GO, CEP:75682-404
E-mail: dante_1306@hotmail.com

Paulo Roberto Bergamaschi
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Instituição: Universidade Federal de Catalão – UFCAT
Endereço: Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, setor Universitário, CEP:75704-020
E-mail: prbergamaschi@ufcat.edu.br

Rogério Azevedo Rocha
Doutor em Eng. de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Universidade Federal do Tocantins – UFT
Endereço: Campus Universitário de Palmas, Centro, Palma-TO – CEP: 77020-210
E-mail: azevedo@mail.uft.edu.br

Hellena Christina Fernandes Apolinário
Doutora em Eng. de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do R. de Janeiro (UFRJ)
Instituição: Universidade Federal do Tocantins – UFT
Endereço: Campus Universitário de Palmas, Centro, Palma-TO – CEP: 77020-210
E-mail: hellena@uft.edu.br

Élida Alves da Silva
Doutora em Matemática pela Universidade de Brasília (UnB)
Instituição: Universidade Federal de Catalão – UFCAT
Endereço: Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, setor Universitário, CEP:75704-020
E-mail: elida_alves@ufcat.edu.br

RESUMO: Neste trabalho trazemos à tona uma indagação milenar a respeito do que são os números. Evidenciamos como esta é uma questão historicamente controversa, que encontra compreensões diversificadas nos campos da filosofia, matemática e filosofia da matemática. Apresentamos um percurso histórico da construção da ideia de número, desde o período paleolítico chegando até ao final do século dezenove quando os matemáticos reavaliaram os fundamentos da matemática e elevaram as ideias ao patamar das linguagens mais rigorosas envolvendo a lógica. Frege (1884) em sua obra "*Os Fundamentos da Aritmética*", pretendeu explicar e justificar a real natureza da

ideia de número sem apelar à geometria. Além dele, destacamos neste trabalho as belíssimas ideias e as importantes contribuições de Bertrand Russell, Hilbert, Dedekind e Peano na construção da ideia de número. A abordagem racional dos conceitos e a validação deles por métodos racionais sem utilizar experimentos sensoriais, são estudos tanto filosóficos quanto matemáticos e neste trabalho procuramos trazer um pouco de luz à estas ideias, reconhecendo a relevância de uma compreensão mais estruturada e mais aprofundada da ideia de número. A metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho foi a da pesquisa bibliográfica. O objetivo central deste trabalho é, portanto, trazer resposta à questão que compreende e circunscreve perspectivas histórica, filosófica e matemática, a saber, "afinal, o que são números? " e, concomitantemente, apresentar uma substancial reflexão acerca da construção da ideia de número, buscando contribuir com uma fundamentação da construção da própria matemática como ciência. E assim, o que se espera é propiciar uma ferramenta que possa subsidiar reflexões e indagações a respeito da construção da ideia de número.

PALAVRAS-CHAVE: Matemática; Número; Filosofia.

ABSTRACT: In this work we bring up an age-old question about what numbers are. We have highlighted how this is a historically controversial issue, which finds diverse understandings in the fields of philosophy, mathematics and philosophy of mathematics. We present a historical journey of the construction of the idea of number, from the Paleolithic period until the end of the nineteenth century whenmathematicians reevaluated the foundations of mathematics and raised ideas to the level the most rigorous languages involving logic. Frege (1884) in his work "The Fundamentals of Arithmetic" intended to explain and justify the real nature of the ideaof number without appealing to geometry. In addition to this, we highlight in this workthe beautiful ideas and the important contributions of Bertrand Russell, Hilbert, Dedekind and Peano in the construction of the idea of number. The rational approachto concepts and their validation by rational methods without using sensory experiments, are both philosophical and mathematical studies and in this work we seek to bring a little light to these ideas, recognizing the relevance of a more structured anddeeper understanding of the idea of number. The methodology used in thedevelopment of the work is bibliographic research. The central objective of this workis, therefore, to answer the question that understands and circumscribes historical, philosophical and mathematical perspectives, namely, "after all, what are numbers?"and, concomitantly, present a substantial reflection on the construction of the idea of number, seeking to contribute with a foundation for the construction of mathematicsitself as a science. Therefore, what is expected is to provide a tool that can supportreflections and inquiries regarding the construction of the idea of number.

KEYWORDS: Mathematic; Number; Philosophy.

1. INTRODUÇÃO

Uma motivação inicial para abordagem do tema advém de observações a respeito de algumas ideias estabelecidas de forma elementar e amplamente aceitas sobre o que vem a ser número, como a que atesta o número como objeto que nos permite efetuar o processo de contagem, entendendo objeto como uma *realidade percebida* ou *conceito pensado*, conforme Abbagnano (2007, p. 723). Também, ao responder indagações do tipo: quantos são? o número é tido como cardinal de alguma coleção, pois descreve a quantidade de elementos pertinentes à referida coleção. Contudo, o número pode ser encarado sob outra perspectiva, pois se numa corrida participam três alunos, o três é cardinal. Ao mencionar que o aluno Pedro chegou em terceiro lugar, o três é um ordinal, ou seja, é um conceito para localizar um termo numa sequência ordenada.

A ideia de número aparece também em registros de objetos e documentos pessoais, como: o número do celular, o número do Cadastro de Pessoa Física (CPF), onúmero do Registro Geral (RG), o número do Cartão de Crédito, o número da Conta Bancária, o número do Código de Barras, etc. Esses objetos utilizam números, não por ser cardinal ou ordinal, pois o número do celular começa com o código de área regional, seguido da operadora de origem, o CPF permite acessar informações individuais de cada cidadão a partir da revelação de sua sequência numérica. Algo semelhante ocorre para os números relativos aos demais objetos: RG, cartão de crédito, conta bancária, códigos de barra, etc. Portanto, os números não podem ser considerados apenas como objetos necessários para efetuar contagens, pois eles são capazes de agregar informações.

Outra motivação essencial para este estudo foi a percepção da dificuldade que qualquer pessoa encontra ao tentar responder à questão: *o que é número?* Tivemos a curiosidade de apresentar este questionamento a algumas pessoas e as respostas se limitaram basicamente ao bojo das entidades com atributos de contagem, de ordenação e de medida, o que condiz com o que tem sido apresentado nos livros didáticos da rede de ensino no Brasil, ao menos naqueles em que pesquisamos.

O contraste intrigante está no fato de a matemática ser notabilizada por definir rigorosamente seus objetos de estudo, contudo, quando buscamos pelo conceito de número, deparamo-nos com uma lacuna ressonante, um vazio, algo que turva o rigor e a clareza matemática. Acreditamos que a história e a filosofia matemática possam

lançar um pouco de luz para entendermos o motivo de assim ser. Portanto, o objetivo central do trabalho é apresentar um percurso histórico e filosófico matemático acerca da construção da ideia de número visando contribuir com uma fundamentação mais aprofundada desta ideia.

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste artigo foi a realização de uma coleta de informações bibliográficas visando um trabalho descritivo e uma abordagem qualitativa. Portanto, trata-se de uma pesquisa bibliográfica na qual buscamos aprofundar o conhecimento disponível na ciência, procurando preencher a ausência deestudo sobre os aspectos do tema em voga, caracterizada pela análise de conceitos e sistematização de ideias visando a transformação do saber. Ressaltamos que este artigo está fortemente fundamentado na dissertação de mestrado de Silva (2020).

2. OS PRIMÓRDIOS DO DESENVOLVIMENTO DA IDEIA DE NÚMERO

O Período Paleolítico compreende de três milhões de anos a doze mil anos antes da Era Comum. Eves (2004, p. 22) comenta que achados arqueológicos desse período dão provas que os humanos efetuavam contagens e medições. Pinturas rupestres, contendo riscos paralelos, são as primeiras formas de representar quantidades, essas representações primitivas são relações biunívocas.

As contagens possuíam motivações práticas, como medir o tempo, a quantidade de pessoas numa caçada, quantidade de presas abatidas, além do conhecimento dos intervalos de tempo pelas fases lunares e as estações do ano como períodos de secas e chuvas.

Para Eves (2004, p. 23) os homens necessitaram contar as fases da lua e os períodos de secas e de chuvas. O domínio dessa técnica é de vital importância para a sobrevivência em ambientes hostis. Os povos desse período eram nômades, viajavam orientados pelos astros celestes por terem desenvolvido uma capacidade de orientação espacial. Por mais primitivo que os agrupamentos humanos fossem no período Paleolítico, o processo de contagem era uma ferramenta vital para a sobrevivência nos ambientes primitivos, sujeitos aos caprichos do clima e das estações. O relacionamento humano com os números começou, portanto, nos primórdios de nossa espécie.

No Período Neolítico, que para Eves (2004, p. 24) vai de doze mil anos a cinco mil anos antes da Era Comum, os seres humanos passaram a ser sedentários. Essa

mudança no modo de vida é atribuída à Revolução Agrícola, que garantiu o fornecimento de alimentos para o homem o ano todo. A agricultura é o ponto de virada no estilo de vida desses povos, de caçadores e coletores a domesticadores e cultivadores. A abundância de alimentos e a necessidade de cuidados ininterruptos dos campos de cultivo, mesmo nos períodos de entressafra, obrigou o ser humano a estabelecer morada definitiva na região de cultivo.

O ambiente em torno dessas moradas era um cenário que necessitava dos números, para contar a fartura, a divisão da colheita e os animais do rebanho pastoreado. Para Roque (2012, p. 33-34) “não foi somente o inventário de animais em rebanhos a maior inspiração para a criação dos números, e sim o registro de quantidades de insumos relacionados à sobrevivência e a necessidade de organizar a sociedade”.

Garbi (2007, p. 6) comenta que a vida urbana deixou as relações humanas mais complexas e o aumento da necessidade de contar foi um motivador para a invenção da escrita e do sistema de numeração posicional. A numeração posicional trouxe aos povos antigos a possibilidade de representar valores, utilizando combinações de poucos símbolos. Esses símbolos representavam quantidades concretas ou abstratas de objetos. As possibilidades de utilização dessa simbologia são vastas, como predizer quantidades futuras, organizar observações, calcular impostos, montar calendários e outros.

A escrita e o sistema posicional foram muito importantes na jornada humana, enquanto a primeira marca o fim da pré-história, a segunda possibilitou o registro de qualquer quantidade com o uso de poucos símbolos e, nesse contexto, o número passa a ser um objeto abstrato. Em paralelo com o sistema posicional dos mesopotâmicos, florescia no norte da África a civilização egípcia que desenvolveu um sistema matemático que auxiliou os indivíduos em suas atividades diárias. A matemática utilizada pelos mesopotâmicos e egípcios era empírica, esses povos utilizavam os números no intuito de descrever quantidades, ordem e medidas.

É no século XII, antes da Era Comum, que surge a civilização grega na Europa. Os gregos influenciaram e influenciam o modo de vida ocidental e o desenvolvimento da ideia de número passa, necessariamente, pelo pensamento grego como podemos verna seção seguinte.

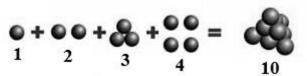
3. DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO GREGO

Eves (2004, p. 94) cita que a civilização grega desenvolve um conhecimento intelectual, abordando a realidade física através de investigações rigorosas e racionais. Esse método investigativo, posteriormente, foi chamado de filosofia. Estudiosos gregos aprenderam a matemática desenvolvida pelos mesopotâmicos e egípcios e aplicaram investigações de cunho mais rigoroso nos estudos matemáticos, determinando que a veracidade de qualquer afirmação deveria ser provada.

O desenvolvimento matemático na Grécia, caracterizado pela introdução de um certo rigor, tem início no século VI antes da Era Comum, com Tales. Antes dele, o conhecimento matemático tinha um viés prático, empírico. Contudo, os pitagóricos foram os primeiros estudiosos a relacionar o embasamento racional de Tales nas definições matemáticas e nas justificativas das afirmações matemáticas.

Singh (1999, p. 33) descreve que a irmandade dos pitagóricos era um grupo fraterno e religioso, com regras precisas de convivência e de comportamento. Aristóteles (2006, p. 56) comenta que, na ótica pitagórica, o número é o elemento básico da realidade, pois tudo que existe é radicado a números. Os números figurados, que são pontos dispostos para formar linhas, triângulos, quadrados e outras formas geométricas, são categorizados em: pares, ímpares, perfeitos, triangulares, quadrados e outros, a mesma classificação utilizada pela Aritmética.

Ao analisarmos números figurados notamos uma relação direta entre as formas geométricas com quantidades. Os pitagóricos não diferenciavam formas e números. O tetractis, apresentado na Figura 1, é a joia do seu sistema místico sendo a soma da unidade 1 com o linear 2, com o triangular 3 e com o quadrado 4, resultando na dezena 10, "a dezena é considerada uma coisa completa" (ARISTÓTELES, 2006, p. 26). O tetractis representa o Cosmo ordenado e completo.

Figura 1 - Tetractis

Fonte: adaptação de Matemelga, (2015).

Os pitagóricos influenciaram estudiosos da Grécia, um deles foi o filosofo

Platão, que estudou matemática com os membros daquela irmandade. Silva (2007, p. 38) destaca que, para Platão, os números compreendem a perfeição na realidade ideal e o ser humano compreende a ideia de número pelo raciocínio. A concepção platônica foi uma das primeiras a explicar a ideia de número, sem recorrer à quantidade. Os pitagóricos também atuavam na mesma linha de raciocínio, contudo, o sistema figurativo é um sistema empírico abstrato, enquanto as definições platônicas eram puramente abstratas. A natureza a priori do seu sistema filosófico, explica a condiçãoda ideia de número como uma ideia que sempre existiu e nunca mudou. Os números seriam reflexos de ideias perfeitas, cuja compreensão se daria somente pelo raciocínio.A ideia numérica de Platão não acata a experiência prática na estruturação de qualquer conhecimento matemático o que gerou críticas contundentes por parte de Aristóteles. Os números que utilizamos como medidas, os gregos denominavam grandezas, tais como: o tamanho de um segmento, a superfície e o espaço de um sólido. Duas grandezas de mesma espécie quando comparadas eram denominadas razão, como exposto na definição três do Livro V de Euclides "uma razão é um tipo de relação quediz respeito ao tamanho de duas grandezas do mesmo tipo" (EUCLIDES, 2009, p. 205).

Em relação ao desenvolvimento da ideia de número, não destacamos fatos importantes no período que segue até o final da Idade Média e início da modernidade, apesar da relevante lista de nomes importantes para o desenvolvimento da matemática neste período, tais como: Diofanto de Alexandria, Nicolau Copérnico, Galileu Galilei, René Decartes, Pierre de Fermat e Blaise Pascal. Assim, na próxima seção passamos a abordar o momento em que a matemática se volta para a formalização da ideia de número.

4. EMBASAMENTO LÓGICO DA IDEIA DE NÚMERO

A aritmetização da Análise Matemática no século XIX depois da Era Comum, libertou o cálculo das definições geométricas e dos infinitésimos. Cauchy formalizou o conceito de limites de funções, dando uma definição precisa e excluindo o uso da geometria, de números infinitesimais ou de velocidades.

> [...] a completa aritmetização da análise só se tornou possível quando, comoHankel previra, os matemáticos compreenderam que os números reais devem ser encarados como 'estruturas intelectuais' e não como

grandezas intuitivamente dadas, legadas pela geometria de Euclides (BOYER, 2012, p. 393).

No final da década de 1870, Frege inicia a investigação das estruturas aritméticas, abandonando qualquer rigor geométrico. Na visão de Frege, definindo rigorosamente os números naturais, estaríamos diante dos subsídios necessários e suficientes para a compreensão de todos os outros tipos de números.

4.1 Logicismo de frege

Frege expressa seu incômodo com a fato dos matemáticos não chegarem a um acordo em relação à natureza dos números. "Não constituirá então uma vergonha para a Ciência estar tão pouco elucidada acerca do seu objeto mais próximo, o qual deveria, aparentemente, ser tão simples? Menos provável ainda é que se seja capaz de dizer o que o número é" (FREGE, 1992, p. 30). Na obra *Os Fundamentos da Aritmética*, de 1884, Frege propõe que a Aritmética deveria ser entendida como um ramo da Lógica, pois com as operações aritméticas chegamos na conclusão das sentenças apenas analisando seus termos, exemplo: (2 + 7) = 9. O silogismo opera da mesma forma,a conclusão está inserida nas premissas bastando analisar as sentenças para deduzir a conclusão. Frege define o conhecimento aritmético de juízo analítico. Como a compreensão da Aritmética não depende da experiência, deduz que esse conhecimento é *a priori*.

Frege (1992, p. 78) determina que número não é propriedade das coisas exteriores e não é subjetivo. O número é um objeto lógico que é atribuído a conceitos. Assim, o número *um* é atributo comum a todos os objetos que caem sobre o conceito de unidade. Os objetos caem sobre o atributo do conceito por terem a mesma cardinalidade, ou a relação de 1 para 1e, neste ponto, Frege utilizou a cardinalidade sem se valer da ideia de número natural. Essa ideia o levou ao conhecido ***Princípio de Hume***, que enuncia: *para quaisquer conceitos* ***F*** *e* ***G****, o número de* ***F*** *é idêntico ao número de* ***G*** *se, somente se,* ***F*** *e* ***G*** *são equinumerosos.* A equinumerosidade é o que hoje denominamos correspondência biunívoca.

A notação utilizada por Frege para este princípio é $\boldsymbol{NxFx} = \boldsymbol{NxGx} \Leftrightarrow \boldsymbol{F} \approx \mathbf{G}$, onde $\approx$ denota uma relação biunívoca entre **F** e **G** e $\boldsymbol{x}$ é um objeto. Esse princípio enunciado por Frege é um operador de cardinalidade.

O desenvolvimento do projeto logicista de Frege dependia do *Princípio de Hume*. Shapiro (2016, p. 164) aborda um problema que ficou conhecido como o problema de Júlio César, no qual se percebe que o *Princípio de Hume* é incapaz de determinar se o número dois é idêntico a um conjunto arbitrário ou a *Júlio César*. Silva (2007, p. 131) comenta que a falta de um princípio de identidade para os números, implicou na questão: sendo os números objetos lógicos que existem apenas no contexto da Lógica, o que são exatamente esses objetos lógicos?

A solução apresentada para o problema de Júlio César foi a introdução da ideia de extensão de um conceito, que é o universo dos objetos que esse conceito designa. Então, dado um conceito ***D*** a extensão de ***D (ext D)*** são todos objetos que caem sobre esse conceito, devido a suas características. O número que pertence ao conceito ***D*** é a extensão do conceito***.*** Desta forma, ficaria claro que Júlio César não é um número, por não ser uma extensão de um conceito numérico.

A extensão de um conceito é a coleção de todos os objetos que detém o atributo relacionado ao conceito. Essa coleção é uma classe e Halmos afirma que "uma classe pode ser identificada com a condição, ou melhor, com a '**extensão**' de uma condição" (HALMOS, 2001, p. 18).

Segundo Shapiro (2016, p. 167) em 1893 Frege publica a obra *Grundgesetze der Arithmetik* (Leis Básicas da Aritmética), onde é apresentada a Lei Básica V: as extensões de dois conceitos são idênticas se, e só se, esses conceitos se aplicam as mesmas coisas. Ou de forma mais simples, qualquer extensão de conceito determina uma classe. Porém, essa lei conduz à seguinte contradição: *pode existir uma classe definida por um conceito D, com elementos que recaem na ext D, apenas no caso do conceito D não os designar.* Por exemplo, tome a propriedade: **W** é a classe das classes que não contém a si própria. Essa classe conterá a si própria somente caso não se contiver. E não conterá a si própria caso se contiver. Essa propriedade ficou conhecida como paradoxo de Russell. Essa descoberta foi comunicada em uma carta à Frege por Russell decretando o fim do projeto logicista de Frege. Russell era logicista, assim como Frege, e continuou com os seus estudos no intuito de reduzir a Matemática à Lógica.

4.2 Logicismo de russell

Bertrand Arthur William Russell foi um logicista, prosseguidor do projeto de

Frege, ao lado de seu amigo Alfred North Whitehead. Juntos eles escreveram Principia Mathematica e seus estudos tinham por intuito reduzir toda a matemática à lógica. O passo inicial foi continuar com o trabalho de Frege e suas pesquisas na aritmética. Em Introdução à Filosofia da Matemática, Russell afirma que:

> Muitos filósofos, quando tentam definir número, estão na verdade empenhados em definir pluralidade, o que é uma coisa inteiramente diferente. Número é o que é característico dos números, como homem é o que é característico dos homens. Uma pluralidade não é um caso de número, mas de algum número particular. Um trio de homens, por exemplo, é um caso de número 3, e o número 3 é um caso de número; maso trio não é um caso de número. Esse ponto pode parecer elementar e quase nem merece menção; no entanto, provou-se demasiado sutil para os filósofos, com poucas exceções. [...] Um número é algo que caracteriza certas coleções, a saber, aquelas que têm aquele número. (RUSSELL, 2007,p. 28).

Existem semelhanças entre a definição de número de Frege com a definição de Russell, mas a definição desse último é o princípio da extensão, pois ele está falando de caracterizar coleções, não necessariamente pela enumeração de objetos. Nas palavras de Russell:

> Em vez de falar de uma 'coleção', falaremos em geral de uma 'classe' ou por vezes de um 'conjunto'. Outras palavras usadas em matemática para a mesma coisa são 'agregado' e 'múltiplo'. Teremos muito a dizer mais tarde sobre classes. [...] Uma classe ou coleção pode ser definida de duas maneiras, podemos enumerar seus membros, ou podemos mencionar uma propriedade definidora. (RUSSELL, 2007, p. 29).

Russell definiu número como *uma classe de classes com os mesmos números de membros* ou, de forma mais precisa, número caracteriza uma classe. Definiu intencionalmente uma classe em que seus membros se relacionam biunivocamente com a classe numérica. Ao definir classe, Russell teve o cuidado de evitar os caminhos que levaram ao paradoxo que ele próprio obteve. A solução foi a teoria dos tipos, que define o indivíduo como um objeto que não é uma classe. Assim, o que afirmamos de um objeto não se estende à classe desses objetos. A sentença: "*a classe dos homens é um homem"* não faz sentido, pois o que pode ser dito de indivíduos não poderá ser dito da classe e vice e versa. Existe uma hierarquia de tipos e quando essa hierarquia é observada o Paradoxo de Russell desaparece. Sua teoria dos tipos evitava as definições *impredicativas*, isto é, uma definição autorreferenciável, ou ainda, "a definição do membro de uma classe que referencia à totalidade dos membros da classe e que, portanto, contém um círculo vicioso" (ABBAGNANO, 2007, p. 547).

Frege aceitava esse tipo de definição, pois classe de classes que não contém a si mesma é uma definição impredicativa.

Russell expressou sua ideia de número, mas ele não explicou o tipo de número, pois o número associado a uma classe é um número cardinal. A cardinalidade está relacionada à contagem, então é necessário determinar os números naturais sem valer-se de cardinalidade, assim ele utiliza a expressão números indutivos.

> Usaremos a expressão 'números indutivos' para designar o mesmo conjunto de que falamos até agora como 'números naturais'. A expressão 'números indutivos' é preferível por servir de lembrete de que a definição desse conjunto de números é obtida a partir da indução matemática. (RUSSELL, 2007, p. 46).

Para Shapiro (2016, p. 171), Russell definiu os números naturais da seguinte forma: ***zero*** é a classe de todas as classes com tantos membros quanto a classe de objetos que não são idênticos a si mesmo. ***Um*** é a classe de todas as classes com tantos membros quanto a classe das classes nulas. ***Dois*** é a classe de todas as classes com tantos membros quanto as classes cujos membros são *zero* e *um*. ***Três*** é a classe de todas as classes com tantos membros quanto as classes cujos membros são *zero*, *um* e *dois* e assim por diante. Temos a mesma equinumerosidade sem valer do conceito de número, por isso define-se ***C*** como a *classe de todas as classes que são* equinumerosas com ***C***.

Cada número natural passa a ser definido como uma classe de classes de indivíduos. O problema é que a série dos números naturais é infinita e ela somente pode ser definida se houver uma quantidade infinita de objetos no universo. Russell resolve esse impasse introduzindo o chamado *Axioma da Infinidade*, segundo o qual: existe um número infinito de objetos no universo. Ou seja, sempre que tivermos um número $\boldsymbol{\delta}$ (delta) de objetos, encontraremos outro objeto e possuiremos uma quantidade $(\boldsymbol{\delta} + \mathbf{1})$ de objetos. Silva (2007, p. 136) menciona que "um axioma lógico não deve ter nada a ver com quantos objetos existem, uma vez que é válido, independentemente da quantidade de objetos". Sendo necessário infinitos objetos para definir a série dos naturais, a conceituação de Russell e Whitehead não era lógica, mas empírica.

No intuito de abolir paradoxos em seu estudo logicista, Russell evitou as definições impredicativas, seu processo de indução consistia em finitos passos. O problema estava em definir que os números ordinais são infinitos, pois ao utilizar a ideia de classe, que é a extensão de um conceito, não há garantia de que existe um

conceito satisfeito por algum atributo infinito. Ele resolveu esse impasse com o axioma da infinidade, o qual afirma que há infinitos indivíduos. Tal axioma possibilitou a Russell, determinar que os números ordinais são infinitos. Consequentemente, como os números indutivos devem ter suas propriedades satisfeitas pelo zero e seus sucessores estabeleceu-se assim a garantia da existência de infinitos números naturais, conforme as palavras de Russell.

> Por nossa definição geral de números cardinais, o número de termos na classe dos números indutivos deve ser “todas as classes similares à classe dos números indutivos”, isto é, esse conjunto de classes é o número dos números indutivos segundo nossas definições. É fácil ver agora que esse número (cardinal) não é um dos números indutivos. Se n for um número indutivo, o número de números de 0 a n (ambos incluídos) será n + 1; portanto, o número total de números indutivos será maior do que n, não importando qual dos números indutivos *n* possa ser. Se arranjarmos os números indutivos numa série em ordem de magnitude, essa série não teránenhum último termo; mas se n for um número indutivo, toda série cujo campo tiver n termos terá um último termo. (RUSSELL, 2007, p. 102).

O axioma da infinidade é hipotético, nas palavras de Russell (2007, p. 101) “[...] existem coleções infinitas no mundo [...] Embora haja aparentemente várias maneiras pelas quais poderíamos esperar provar esse axioma, há razões para temer que sejam todas falaciosas”. As questões relativas ao infinito trouxeram inúmeros problemas no projeto logicista de Russell. A solução era aceitar novos axiomas hipotéticos, como o axioma da redutibilidade, que lhe possibilitou ignorar a teoria dos tipos estabelecida no início de seu projeto. Esses axiomas hipotéticos não eram lógicos, mas, hipóteses empíricas. Esses entraves em seus estudos limitaram o prosseguimento de suas pesquisas matemáticas. O interesse por questões filosóficas e linguísticas, juntamente com o contato com os estudos de Peano, levaram Russell a abandonar seuprojeto logicista, como Frege havia feito antes. Mas diferente de Frege, Russell não acreditava em objetos lógicos, para ele a lógica é uma teoria das formas lógicas e não de objetos lógicos. Podemos dizer então que os símbolos para classes são meras conveniências, não representando objetos chamados “classes”, e que as classes são, de fato, como as descrições, ficções lógicas, ou (como dizemos) ‘símbolos incompletos’. (RUSSELL 2007, p. 216).

O projeto logicista de Russell não foi tão bem-sucedido como o de Frege, não lhe dando a mesma influência na lógica matemática em comparação aos estudos fregeanos. Aparentemente ele foi um dos primeiros matemáticos a notar que essas

inconsistências lógicas aparecem nas estruturas matemáticas.

Contudo, foi o matemático italiano Giuseppe Peano que, de forma independente, talvez tenha melhor estruturado as ideias desenvolvidas por Frege e Russell. Ele apresentou um sistema axiomático, reconhecidamente estruturado e eficiente, para evidenciar formalmente a ideia de número.

4.3 Teoremas de dedekind-peano

No ano 1889, o matemático italiano Giuseppe Peano publicou o livro *Arithmetices Principia Nova Methodo Exposita*, no qual ele resume as características estruturais dos números naturais em uma lista de axiomas lógicos e simbólicos. Peano admite ter copiado Dedekind, por isso esses axiomas são denominados de Axiomas de Dedekind-Peano. Também vemos similaridades dele com Frege, mas ambos chegarama mesma conclusão de forma independente.

Richard Dedekind elaborou definições mais rigorosas para os números reais, crente que a Aritmética se fundamenta nas *leis do pensamento*, exposto na sua obra *Was sind und was sollen die Zahlen? (O que são e o que significam os números?)*, publicada em 1888, com a intenção de encontrar um fundamento último da Aritmética em sua capacidade de relacionar objetos. Ao postular que a Aritmética se fundamenta em leis do pensamento, ele a coloca sob uma perspectiva lógica, similar ao seu contemporâneo Frege. Dedekind era opositor ao empirismo nas proposições aritméticas. Para ele, o termo *axioma* é sinônimo de hipótese. Neste sentido, evidenciamos no pensamento de Dedekind, uma perspectiva relacional-estruturalista. Em sua visão os axiomas aritméticos são regras construtivas.

A visão de Dedekind se consolidou com o trabalho de Peano, pois os axiomas de Peano são regras construtivas. Para Russell, foi Peano quem reduziu a matemática pura tradicional à teoria dos números naturais.

> Tendo reduzido toda a matemática pura e tradicional à teoria dos números naturais, o passo seguinte em análise lógica foi reduzir essa teoria ela própria ao menor conjunto de premissas e termos indefinidos de que era possível derivá-la. Esse trabalho foi levado a cabo por Peano. Ele mostrou que toda a teoria dos números naturais podia ser derivada de três ideias primitivas e cinco proposições primitivas além daquelas da lógica pura. Essas três ideias e cinco proposições tornaram-se dessa maneira, por assim dizer, refém de toda matemática pura tradicional. Se elas pudessem ser definidas e provadas em termos de outras, toda a matemática pura também poderia sê-lo. Seu 'peso' lógico, se podemos usar esse termo, é igual ao de toda a série de ciências que foram deduzidas da teoria dos

> números naturais; a verdade dessa série toda é assegurada se a verdade das cinco proposições primitivas estiver garantida, contando, é claro, que não haja nada errôneo no aparato puramente lógico que também está aí envolvido. O trabalho de análise matemática é extraordinariamente facilitado por esse trabalho de Peano (RUSSELL, 2007, p. 21).

Para iniciar uma teoria é necessário aceitar alguns termos sem os definir, esta é a forma de produzir ciência e não apenas ciência matemática. De fato, conforme Ribeiro *et al.* (2020), para se definir um termo é necessário fazer referência a outro termo anteriormente definido, este por sua vez fará referência a outro anterior, e assim por diante. Um fator que nos levaria a um processo de regressão infinita o que impediria iniciar qualquer teoria. Em matemática os objetos introduzidos sem definição são ditos *termos primitivos* ou *ideias primitivas.* De maneira análoga, para iniciar uma teoria é necessário aceitar algumas afirmações sem prová-las, estas afirmações são os *axiomas*.

Morgado (2015) comenta que Peano construiu seu sistema de axiomas tomando três termos primitivos, que são: um, número natural e sucessor e cinco proposições primitivas, ou *axiomas*:

i) 1 é um número natural.

ii) Se n é um número natural o sucessor de n, $S(n) = n + 1$ é um número natural.

iii) $S(n) \neq 1$, para todo n natural. (1 não é sucessor de nenhum número natural).

iv) Se $S(m) = S(n)$, então $m = n$. (Naturais distintos têm sucessores distintos).

v) Se $1 \in X$ e se, além disso, $S(n) \in X$, para cada $n \in X$, então $X = \mathbb{N}$.

Peano toma número natural como noção primitiva, diferente de Frege e Russell que queriam saber o que é número. Os axiomas de Dedekind-Peano não dizem respeito a equinumerosidade. Para Britto (2013, p.30) esses axiomas organizam os números naturais como uma sequência linear simples, de forma que temos como corolário do teorema geral, um teorema de recursão para os números naturais.Os postulados de Peano não caracterizam apenas os números naturais, essa axiomática satisfaz qualquer sequência biunívoca com os naturais.

Britto (2013, p. 28) cita que chegou-se a acreditar que o sistema axiomático apresentado por Peano contemplaria a axiomatização de toda a Aritmética. Contudo, os estudos e resultados obtidos por Gödel sobre a impossibilidade de desenvolver toda a Aritmética em um sistema simultaneamente completo e consistente foram essenciais para mostrar que não. Os resultados destes estudos de Gödel ficaram conhecidos

como *teoremas da incompletude*.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia vigente de número se apoia, majoritariamente, em um contexto aritmético onde o termo número não é definido, mas está sujeito às regras e afirmações que o caracteriza. Neste sentido eles admitem uma identidade própria. Por esse ponto de vista, 26071925 é um número natural, ainda podemos afirmar a igualdade: 26071925 = 25 × 1042877. Ser múltiplo de 25 é uma propriedade aritmética desse número. Por outro lado, quando o mesmo número é denotado na forma 26.07.1925, ele perde a conotação aritmética e passa a admitir outro significado atribuído à notação que remete a uma data específica do calendário gregoriano, deixando de ser compreendido como um número natural com propriedades aritméticas. Esta é a data de falecimento de Frege, uma sequência numérica de natureza informativa. Portanto, os números também abrangem um importante contexto informativo. É o caso também da sequência numérica do seu CPF à qual é atribuída a ideia de identificação e registro. De fato, o cadastro de pessoa física utiliza de um número com 11 dígitos para identificar cada cidadão brasileiro com uma série de informações. Assim, estes números são vistos como códigos aos quais são atribuídos significados diversos.

Observando os atributos dos números, surge a seguinte questão: basta possuir um atributo numérico (cardinal, ordinal, medida) para ser tido como número? A resposta nos parece ser claramente negativa, uma vez que o alfabeto não é um conjunto numérico apesar de ser ordenado.

A questão é que os números podem admitir alguns atributos como cardinalidade, ordem e medida, mas estes não determinam o que é um número. Um software de planilhas tem suas colunas enumeradas pela sequência: $\{A, B, C, D, \dots, Z, AA, AB, \dots., ZY, ZZ, AAA, \dots\}$. Podemos notar que essa sequência pode ser utilizada com o sentido de enumeração, pois ela é ordenada, e pelos axiomas de Peano podemos relacionar essa sequência com os números naturais.

Os números nem sempre estão diretamente relacionados a um significado explícito, o ensino-aprendizagem da Aritmética desenvolve o cálculo mental. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece que “a escola precisa preparar o estudante para entender como a Matemática é aplicada em diferentes situações. Na

aula, o contexto pode ser puramente matemático, ou seja, não é necessário que a questão apresentada seja referente a um fato cotidiano” (NOVA ESCOLA, 2020, nº 32). A Matemática é lida com os números em âmbito geral, pois qualquer outra ciência explica o contexto que os números estão inseridos. A expressão aritmética $\mathbf{4+5}$ não enuncia necessariamente uma quantidade. A solução $\mathbf{9}$, não representa necessariamente a quantidade de objetos. Se essa soma fosse aplicada à física, em um indicativo de velocidade, por exemplo, poderia significar que **4 m/s** mais **5 m/s** resulta em **9 m/s**. As operações aritméticas têm por finalidade exercitar nossa cognição, as aplicações são consequências desses estudos. “A linguagem da matemática pode ter algum tipo de significado, mas, então, este significado é irrelevante para a prática da matemática. No que que diz respeito ao matemático praticante, os símbolos dalinguagem matemática podem também não ter sentido”. (SHAPIRO, 2016, p. 209).

Euclides inicia o Livro I, com as seguintes definições: “**Ponto** é aquilo de que nada é parte; E **linha** é comprimento sem largura; **Superfície** é aquilo que tem somente comprimento e largura” (EUCLIDES, 2009, p. 97). Empiricamente, ponto é uma superfície mínima e linha tem largura. De fato, a superfície de um lago não é um plano, já que nela existe ondulações. Construções geométricas derivadas dessas definições são possíveis somente pelo intelecto. Concretamente não existem pontos, linhas e nem superfícies. Assim, a Geometria é abstrata. Na realidade física representamos esses objetos mentalmente como reflexos imperfeitos das formas abstratas. As formas geométricas, como descritas por Euclides, apenas existem como abstração, na realidade física elas são imperfeitas. Contudo, uma operação aritmética executada por meios abstratos é a mesma operação aritmética executada na realidade física. Neste sentido, talvez a ideia de que qualquer construção aritmética abstrata possa se manifestar perfeitamente na realidade física seja verdadeira. Um número que é dividido por 2 e deixa resto 1 é um número ímpar. Rigorosamente, todo número ímpar $\boldsymbol{m}$ é da forma $\boldsymbol{m} = \mathbf{2}\boldsymbol{n} + \mathbf{1}$, para algum inteiro $\boldsymbol{n}$. Representando da forma $\boldsymbol{m} = \boldsymbol{n} + \mathbf{1} + \boldsymbol{n}$, observando o segundo membro da expressão, veremos que um número ímpar pode ser escrito como a soma do número $\mathbf{n}$ à esquerda e à direita do número $\mathbf{1}$ que é um termo mediano. Assim $\mathbf{9} = \mathbf{2}.\ \mathbf{4} + \mathbf{1}$, pode ser representado na forma $\mathbf{9} = \mathbf{4} + \mathbf{1} + \mathbf{4}$. Utilizando quantidades concretas temos o mesmo resultado. As propriedades aritméticas são iguais na realidade abstrata e na realidade física. Esse é um diferencial entre a Geometria e a Aritmética, já que a primeira não discorre sobre objetos da

realidade física enquanto a segunda descreve de forma abstrata conceitos físicos.

Uma suposição perfeitamente aceitável é a de que não existe um objeto denominado número. A validade de um sistema numérico dependente da coerência de cada sistema fundamentado por axiomas. Em Abbagnano (2007, p. 720) encontramos que o conceito de número não está ligado a uma determinada interpretação. Mas é determinado por diferentes interpretações. A possibilidade de diferentes interpretações caracteriza a noção de número em qualquer sistema. A compreensão numérica está sujeita ao contexto interpretativo.

Este trabalho evidencia com clareza a dificuldade que a matemática, como ciência, encontrou e ainda encontra para definir um objeto tão fundamental em sua existência, o número. O que a princípio pareceria simples se revelou um grandioso problema que até os dias atuais não encontra solução. O receio e incômodo expressados por Frege como "uma vergonha para a ciência", tem sido objeto de estudos e discussões que perpassam os anos.

Uma conclusão possível e bastante plausível à qual este trabalho nos remete, é a de que nenhuma definição de número jamais encontrou consenso entre os matemáticos, justamente porque este tal objeto não pode vir a ser apreendido, captado ou assimilado, completamente, em sua totalidade, por alguma sequência de palavras, por mais significativas e mais próximas da ideia de número elas possam chegar. Neste sentido, a construção axiomática apresentada por Peano acaba sendo uma possibilidade mais concreta para uma resposta sensata à questão: Afinal, o que é um número? De fato, pois Peano diria que número não é nada que se possa definir, ele é um objeto que precisamos aceitar sem definição. Sendo assim, não nos é permitido saber o que é número. Isto, por outro lado, abre uma infinidade de possibilidades para representarmos um número via modelos de um sistema axiomático. Um modelo é uma representação particular dos termos e relações primitivas por outros objetos e relações que conhecemos, de modo que a representação satisfaça os axiomas estipulados. É o que fazemos, grosso modo, quando atribuímos a um número o preço dos objetos de consumo. Quando dizemos que uma bicicleta custa R$ 300,00 estamos atribuindo ao objeto não definido *número 300*, uma interpretação deste como preço do objeto real bicicleta. Sugerimos a dissertação de Silva (2020) como uma fonte para o tema.

Faz-se necessário reconhecer que, em relação à indagação sobre o que é número, ainda há um longo caminho a ser trilhado na busca por uma resposta que venha a ser mais objetiva e que também venha a alcançar consenso amplo e irrestrito

na comunidade matemática. De maneira geral, a construção de ferramentas que visem propiciar ao professor de matemática e a todos aqueles que se interessam pela matemática uma via para a construção de conhecimentos questionadores e sensíveis às várias questões singulares, como a proposta neste artigo, também admite uma estrada longa a ser percorrida. Esperamos ter aberto uma possibilidade para que alguns passos sejam trilhados nesta estrada.

REFERÊNCIAS

ABBAGNANO, N. Dicionário de filosofia. Tradução de Alfredo Bossi. 5ª ed. Editora Martins Fontes, 2007.

ARISTOTELES. Metafísica. Tradução de Edson Bini., Bauru, SP. Edipro, 2006.

BOYER, C. B. História da matemática. Tradução de Helena Castro. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 2012.

BRITTO, A. H. O teorema de Frege: uma reavaliação do seu projeto logicista. Dissertação (Mestrado em Filosofia) - Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2013.

EUCLIDES. Os Elementos. Tradução de Irineu Bicudo. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

EVES, H. Introdução à história da matemática. Tradução de Hygino H. Domingues. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2004.

FREGE, G. Os Fundamentos da Aritmética: Uma investigação lógico-matemática acerca do conceito de número. Tradução: Antônio Zilhão. S.l. Imprensa Nacional-Casa da Moeda, 1992.

GARBI, G. A Rainha das Ciências: um passeio histórico pelo maravilhoso mundo da matemática. 2. Ed. São Paulo: Editora Livraria Física, 2007.

HALMOS, P. R. Teoria ingênua dos conjuntos. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2001.

MATEMELGA. Números tetraédricos. Disponível em https://matemelga.wordpress.com /2015/11/. Acesso em 11 de fev. 2020.

MORGADO, A.; CARVALHO, P. Matemática Discreta. Rio de Janeiro: SBM, 2015.

NOVA ESCOLA. Novos temas e reorganização das áreas são as principais novidades em Matemática, c 2020. Disponível em: <https://novaescola.org.br/bncc/conteudo/32/novos-temas-e-reorganizacao-das-areas-sao-as-principais-novidades-em-matemática/>. Acesso em: 09 de out. de 2020.

RIBEIRO, M. R. R.; BERGAMASCHI, P. R.; NASCIMENTO, D. L.; SANTEE, D. M.; JÚNIOR, P. A. S. O ensino da geometria como verdade "absoluta". Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.06, n.12, p. 95651-95666, dez. 2020. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/21193. Acesso em 20 jan. 2021.

ROQUE, T.; CARVALHO, J. Tópicos de História da matemática. Rio de Janeiro: SBM, 2012.

RUSSELL, B. Introdução à Filosofia Matemática. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Zahar, 2007.

SHAPIRO, S. Filosofia da Matemática. Ed. Lisboa, 2016.

SILVA, J. Filosofias da matemática. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

SILVA, F. Uma investigação sobre a ideia de Número. Dissertação (Mestrado profissional em Matemática) – Instituto de Matemática e Tecnologia, Universidade Federal de Catalão. Catalão, p. 71. 2020.

SINGH, S. O Último Teorema de Fermat: a história do enigma que confundiu as maiores mentes do mundo durante 358 anos. Tradução de Jorge Luiz Calife. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Record, 1999.

CAPÍTULO 08

POTENCIAL CITOGENOTÓXICO DE *BYRSONIMA CRASSIFOLIA* (MURICI), MALPIGHIACEAE

Jonis Franklin Leite dos Santos
Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Alta Floresta, MT, Brasil
E-mail: jonisfranklin@hotmail.com

Ingridys Regina B. dos Santos
Graduanda em Ciências Humanas, pela Universidade Federal de Mato Grosso, Campusde Sinop, Mato Grosso, Brasil
E-mail: ingridysregina@outlook.com

Denise Borkenhagen dos Santos
Especialista em Psicopedagogia pela Universidade Federal de Mato Grosso Campus de Cuiabá, MT, Brasil.
E-mail: borkenhagensantos@hotmail.com

Ísis Caroline B. dos Santos
Graduanda em Ciências Exatas, pela Universidade Estadual de Mato Grosso, Campus de Sinop, Mato Grosso, Brasil
E-mail: isiscarolinesnp@gmail.com

RESUMO: Substâncias potencialmente tóxicas podem estar presentes tanto em alimentos como em fitoterápicos tradicionais e seus efeitos estão relacionados a fatores como: frequência, quantidade e tempo. Dentre as diversas espécies botânicas com potencial terapêutico, destaca-se *Byrsonima crassifolia,* Malpighiaceae, popularmente conhecida como muricizeiro, sendo que suas folhas e cascas são utilizadas na medicina popular para tratar tosses, dermatoses fúngicas, diarreia e mordida de cobra. O estudo teve como objetivo avaliar o potencial citogenotóxico de extratos aquosos de folhas e cascas de *B. crassifolia* sobre o ciclo celular de *Allium cepa*. O teste *Allium cepa* foi realizado pelo método descontínuo e, após o enraizamento, os bulbos foram submetidos à extratos aquosos (infusoe decocto) da casca e da folha de *B. crassifolia*, em cinco concentrações. A água destilada foi utilizada como controle negativo e o glifosato 1%, como controle positivo. O experimento foi conduzido em DIC (delineamento inteiramente casualizado) e em câmarade germinação, na ausência de luz e em temperatura controlada. A avaliação foi realizada a partir de parâmetros macroscópico (comprimento da raiz) e microscópicos (índice mitótico e alterações cromossômicas). Os extratos aquosos da casca e folha de *B. crassifolia* promoveram redução significativa no comprimento das raízes e no índice mitótico das células meristemáticas de *A. cepa*, enquanto a frequência de aberrações cromossômicas ou anormalidades nas fases da divisão celular foi baixa. *B. crassifolia* possui atividade antiproliferativa e citotóxica. Os extratos aquosos da casca e folhaapresentaram efeito citotóxico no **comprimento do sistema radicular,** reduzindo o índicemitótico nas células meristemáticas de A. cepa em função do aumento nas concentrações**.**

PALAVRAS-CHAVE: Extratos aquosos; Índice mitótico; *Allium cepa;* Concentrações.

ABSTRACT: Potentially toxic substances can be present in both foods and traditional herbal medicines and their effects are related to factors such as: frequency, quantity and time. Among the several botanical species with therapeutic potential, *Byrsonima crassifolia*, Malpighiaceae, popularly known as muricizeiro, stands out, and its leaves and barks are used in folk medicine to treat coughs, fungal dermatoses, diarrhea and snake bite. To evaluate the cytogenotoxic potential of aqueous extracts of leaves and bark of *B. crassifolia* on the cell cycle of *Allium cepa.* The *Allium cepa* test was performed by the batch method and, after rooting, the bulbs were subjected to aqueous extracts (infusion and decoction) of the bark and leaf of *B. crassifolia*, in five concentrations. Distilled water was used as a negative control and glyphosate 1% as a positive control. The experiment was conducted in DIC (completely randomized design) and in a germination chamber, in the absence of light and at controlled temperature. The evaluation was carried out using macroscopic (root length) and microscopic (mitotic index and chromosomal alterations) parameters. The aqueous extracts of the bark and leaf of *B. crassifolia* promoted a significant reduction in the length of the roots and in the mitotic index of the meristematic cells of *A. cepa*, while the frequency of chromosomal aberrations or abnormalities in the phases of cell division was low. *B. crassifolia* has antiproliferative and cytotoxic activity. The aqueous extracts of the bark and leaf showed a cytotoxic effect on the length of the root system, reducing the mitotic index in the meristematic cells of *A. cepa* due to the increase in concentrations.

KEYWORDS: Aqueous extracts; Mitotic index; *Allium cepa;* Concentrations.

1. INTRODUÇÃO

Desde a Antiguidade as plantas têm sido consideradas fonte alternativas terapêuticas, sendo utilizadas de forma empírica no tratamento de diferentes patologias (PESSOA *et al.*, 2018). Estudos de atividades alelopáticas e mutagênicas têm sido empregados em plantas medicinais, pois muitas espécies brasileiras ainda necessitam de análises sobre o seu potencial mutagênico (BARCELOS, 2019).

Dentre as diversas espécies botânicas com potencial terapêutico, encontra-se a *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, popularmente conhecida como "muricizeiro", cujas folhas e cascas da árvore são usadas na medicina popular para tratar tosses, dermatoses fúngicas, diarreia e mordida de cobra (BEJAR EZRA *et al.*, 1995; MARTÍNEZ-VÁZQUEZ M. *et al.,* 1999), além de apresentar um potencial antimicrobiano eficientes com extratos das raízes na inibição bacteriana (GELLEN & SILVA, 2016).

Em estudos realizados com extratos das folhas de *B. crassifolia* foram isolados glicolipídeos, triterpenos, ácidos triterpênicos, catequinas e flavonoides (BEJAR EZRA *et al.,*1995; RASTRELLI, LUCA *et al.,* 1997). Os compostos fenólicos e derivados de triterpenos dos extratos etanólicos da casca, apresentam potencial antifúngico (ANDRADE, B. S. *et al.,* 2018), enquanto que dos frutos (polpa), não há registro de substâncias isoladas, exceto dos compostos voláteis responsáveis pelo seu aroma; os metabólicos podem ser tóxicos, sendo necessários testes quanto a sua toxicidade (REZENDE & FRAGA, 2003; ALVES & FRANCO, 2003). Entre os testes citogenéticos empregados para avaliação do potencial citogenotóxico das espécies vegetais destaca-se o sistema teste de *Allium cepa* L., que permite avaliar os danos cromossômicos, interferência no ciclo celular de um vegetal e determinação de toxicidade através da observação dos efeitos mutagênicos, genotóxicos e citotóxicos dos extratos sobre suas raízes (GRANT, 1982; LESSA *et al.*, 2017). O sistema teste de *A. cepa* é frequentemente utilizado por possuir baixo custo, ser de fácil execução e apresentar confiabilidade reconhecida (LESSA *et al.,* 2017), além da espécie apresentar propriedades cinéticas de proliferação e cromossomos grandes e em número reduzido (2n=16) (CARITÁ & MARIN´MORALES, 2008).

O método de avaliação de alterações cromossômicas em raízes de *A. cepa* é validado pelo Programa Internacional de Segurança Química (IPCS, OMS) e o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP) como um eficiente teste para análise

e monitoramento *in situ* da genotoxicidade de substâncias ambientais (CABRERA & RODRIGUEZ,1999).

Considerando a crescente utilização de *B. crassifolia* como alternativa terapêutica pela população, este trabalho teve como objetivo avaliar a citotoxidade e genotoxidade de extratos aquosos, infuso e decocto, de folhas e cascas do tronco do muricizeiro por meio do teste de *A. cepa*.

2. MÉTODOS

O material vegetal, folhas e cascas do tronco do muricizeiro, foi coletado de indivíduos adultos cultivados em quintal urbano do Município de Alta Floresta, no norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. Material botânico fértil de *B. crassifolia* foi depositado no Herbário da Amazônia Meridional (HERBAM), onde teve sua identificação botânica confirmada pelo botânico Augusto Francener Gonzaga.

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Genética Vegetal e Biologia Molecular (GenBioMol), Centro de Pesquisa e Tecnologia da Amazônia Meridional (CEPTAM), da Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado(UNEMAT), Campus Universitário de Alta Floresta, Mato Grosso, Brasil.

2.1 Preparo dos extratos aquosos

Foram preparados extratos aquosos do tipo decocto (EAD) e infuso (EAI) a partir das folhas e também a partir de partes da casca do caule de *B. crassifolia*.

Para obtenção do EAD, a água, juntamente com as folhas ou partes da casca, foi aquecida e mantida em fervura por cinco minutos. Em seguida, o extrato ficou tampado, em repouso, e, ao atingir a temperatura ambiente, foi filtrado e diluído. Foram utilizados 48 g de casca do caule e 600 mL de água destilada para obtenção do extrato de maior concentração (80 mg / mL) e a partir da diluição deste foram obtidas as demais concentrações (40, 20, 10 e 5 mg / mL) do EAD. Das folhas frescas, foram utilizadas 9,6 ge 600 mL de água destilada, obtendo-se extrato na concentração de 16 mg / mL e, as demais concentrações (8, 4, 2, e 1 mg / mL) foram obtidas por diluição.

Para obtenção dos EAI, foram utilizadas as mesmas concentrações do EAD,

contudo, o preparo consistiu em verter água em ponto de fervura (100 ºC) sobre os materiais vegetais (partes da casca ou folhas), mantendo abafado por 10 minutos. Posteriormente, os extratos foram filtrados e diluídos.

2.2 Teste *allium cepa* l.

O teste *A. cepa* foi realizado conforme a metodologia proposta por (FISKESJO, 1985) com alterações propostas por (BABICH *et al.,* 1997).

Os bulbos de *A. cepa* foram submetidos ao tratamento descontínuo, sendo colocados em água destilada para emissão de raízes e, após 48h, quando as raízes apresentavam aproximadamente 10 mm de comprimento, foram transferidos para os respectivos extratos a serem avaliados.

Os bulbos foram submetidos à cinco concentrações de EAI (1, 2, 4, 8 e 16 mg / mL) e de EAD (5, 10, 20, 40 e 80 mg / mL) obtidos, separadamente, das folhas e de partes da casca de *B. crassifolia*. O controle negativo, considerado como 0 mg / mL, foi constituídode água destilada e o glifosato diluído a 1% foi utilizado como controle positivo.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em um esquema fatorial de 2 x 5 + 2, sendo dois tipos de extratos (EAI e EAD), cinco concentrações por extrato e dois tratamentos controle (água destilada e glifosato 1%), com 5 repetições cada. O experimento utilizando extratos da folha foi realizado separadamente ao do que utilizou extratos de partes da casca de *B. crassifolia.* Os bulbos foram mantidos em câmara de germinação do tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) sob temperatura controlada (25 ºC ± 2) e ausência de luz por 48 horas. Após este período foram coletadas, aleatoriamente, 10 raízes de cada concentração do EAI, EAD, CP e CN, sendo o comprimento das mesmas mensurado com auxílio de paquímetro digital. Para avaliação do índice mitótico e das alterações cromossômicas, raízes foram coletadas e colocadas em solução fixadora (3:1, etanol: ácido acético (v/v)) por 24 horas, em temperatura ambiente, e posteriormente, transferidas para etanol 70%, sendo mantidas sob refrigeração (± 4 ºC) até o preparo das lâminas.

No preparo das lâminas para avaliação do potencial citogenotóxico de *B. crassifolia*, as raízes de A. cepa foram lavadas em água destilada por cinco minutos, hidrolisadas em HCL 1N por 15 minutos e, novamente, lavadas em água destilada por cinco minutos. Para confecção das lâminas utilizou-se o meristema apical das raízes,

sendo o material corado com, aproximadamente, 100 µl de orceína acética 2%. Com auxílio de um bastão de vidro o meristema foi fragmentado e, posteriormente, coberto com lamínula.

Foram preparadas oito lâminas por concentração de cada um dos extratos avaliados, assim como dos CP e CN e analisadas 250 células por lâmina, totalizando 2.000 células por tratamento e 10.000 células por extrato. As lâminas foram observadas, pelo método devarredura, em microscópio óptico, em magnitude de 400X, sendo que para cada lâmina foi registrado o número de células em cada fase do ciclo celular (intérfase, prófase, metáfase, anáfase e telófase), bem como, quando presentes, as alterações em cada uma delas. O registro fotográfico foi realizado utilizando uma câmera digital CMOS (1.3 MP), colorida, acoplada ao microscópio e para captura e edição de imagem utilizou-se o software TSview.

2.3 Análise estatística

O índice mitótico (IM) foi obtido por meio da equação IM = (nº de células em mitose/nº de células observadas) x 100.

A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Lilliefors e os resultados referentes à variável IM foram transformados em arco seno $\sqrt{(x/100)}$, onde x representa o percentual de células em mitose (VASCONCELOS *et al.*, 2012). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para o fator concentração dos extratos foram ajustadas regressões polinomiais, sendo a escolha do modelo feita com base no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e no menor desvio. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa Genes (Cruz, 2016).

3. RESULTADOS

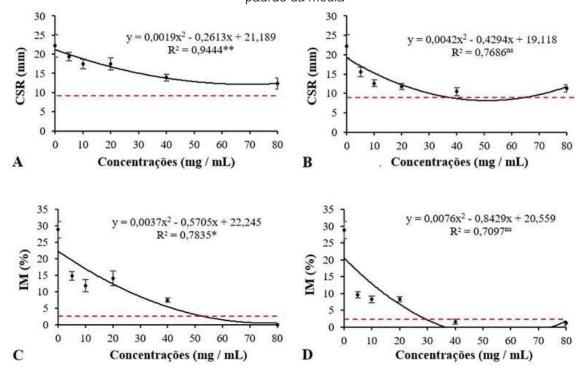
3.1 Efeito dos extratos da casca de *byrsonima crassifolia*

A análise de variância (ANOVA), com os extratos EAI e EAD da casca do caule de *B. crassifolia*, revelou um efeito significativo ($p \leq 0,05$) dos extratos e das concentrações sobre o crescimento do sistema radicular (CSR), enquanto que para o

índice mitótico (IM)foi observada interação significativa (p ≤ 0,05) entre essas duas fontes de variação.

Os dois tipos de extratos (EAI e EAD) de partes da casca do caule de *B. crassifolia* inibiram o CSR de *A. cepa*, quando comparados a média do CN (Figuras 1A e 1B). O EAD ocasionou maior efeito inibitório, sendo as médias de todas as concentrações inferiores e significativamente diferentes da média do controle negativo, enquanto que o EAI apresentou médias significativamente diferentes do controle negativo apenas nas concentrações de 40 e 80 mg / mL. Já para o IM, ambos os extratos resultaram em efeito citotóxico, o que pode ser observado na curva de regressão que exibe redução do IM de acordo com o aumento da concentração dos extratos (Figuras 1 C e D).

As células meristemáticas de A. cepa expostas aos extratos obtidos a partir da casca de B. crassifolia não apresentaram alterações cromossômicas, indicando que os mesmos não possuem efeito genotóxico.

Figura 1 – Comprimento do sistema radicular (CSR) e Índice mitótico (IM) das células meristemáticas de bulbos de Allium cepa expostos aos extratos aquosos da casca do caule de *Byrsonima crassifolia*. A e C: infuso; B e D: decocto. A linha tracejada representa a média do controle positivo e ɸ, o erro padrão da média

A comparação entre os extratos, via teste de Tukey (p ≤ 0,05), indica que para o CSR, houve diferença significativa entre EAI e EAD apenas nas concentrações

10 e 20 mg / mL, enquanto que para o IM, as diferenças foram observadas nas concentrações 5, 20 e40 mg / mL.

Os resultados encontrados neste estudo assemelham-se aos relatados por (ROSA *et al.,* 2017), onde a avaliação da qualidade da água por meio do teste de *A. cepa*, indicou nas amostras avaliadas efeito citotóxico sobre o CSR e alterações no IM, não apresentando efeito genotóxico.

Assim como neste estudo, bulbos de *A. cepa* tratados com extratos de *Plectranthusbarbatus* (Lamiaceae) apresentaram redução CSR quando comparados com o CN (Bezerraet al., 2016). (COELHO *et al.,* 2017), em estudos com *Echinodorus grandiflorus* e *Sagittaria montevidensis* (Alismataceae), constatou que as maiores concentrações estudadaspromoveram redução no crescimento das raízes quando comparadas ao CN, enquanto que estudos realizados com *Orbignya phalerata* (Arecaceae) indicaram inibição do índice mitótico no sistema teste de *A. cepa* conforme aumento nas concentrações dos extratos (SILVA *et al.,* 2015).

3.2 Efeito dos extratos das folhas de *byrsonima crassifolia*

A análise de variância (ANOVA) dos extratos aquosos das folhas de *B. crassifolia* revelou interação significativa entre extratos e concentrações tanto para o CSR quanto parao IM.

Ambos os extratos (EAI e EAD) da folha de B. crassifolia promoveram inibição doCSR dos bulbos de A. cepa, quando comparados ao controle negativo. O EAD, na primeira concentração avaliada, apresentou um efeito inibitório acentuado, embora tenha diferido significativamente do CN apenas nas concentrações de 8 e 16 mg / mL. O EAI, por sua vez, diferiu significativamente do CN apenas na concentração de 16 mg / mL. Em se tratando da ação dos extratos sobre o IM, ambos tiveram efeito citotóxico nas células meristemáticas de A. cepa. A redução do IM foi significativa em relação ao CN a partir da concentração 1mg / mL, e todas tenham diferido significativamente do CP. Já o EAD mostrou-se mais eficiente na atividade antiproliferativa quando comparado ao EAI, diferindo deste nas concentrações 2, 4 e 8 mg / mL (Tabela 1).

Tabela 1 – Resultado do teste de média para o crescimento do sistema radicular (CSR) e índice mitótico (IM)das células meristemáticas de bulbos de Allium cepa expostos aos extratos aquosos, infuso e decocto, de folhas de *Byrsonima crassifolia*.

Concentrações	CSR		IM	
	Infuso	Decocto	Infuso	Decocto
0 mg / mL	22,21 abA	22,21 bcA	28,80 aA	28,80 aA
1 mg / mL	22,57 abB	33,16 aA	12,90 bA	12,95 bA
2 mg / mL	24,32 aA	25,29 abA	19,15 bA	7,75 bcB
4 mg / mL	29,92 aA	20,08 bcdB	14,05 bA	5,95 cB
8 mg / mL	24,62 aA	14,11 cdB	14,50 bA	5,70 cB
16 mg / mL	13,93 bA	10,95 dA	2,75 cA	1,65 dA

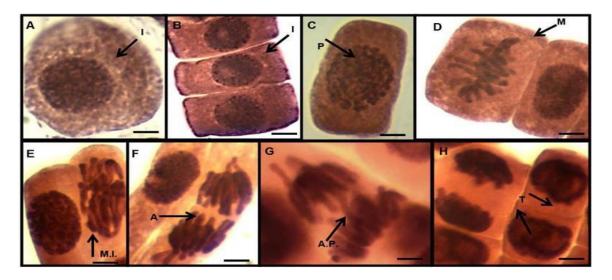
Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados obtidos a partir dos extratos da folha de *B. crassifolia* assemelham-se aos obtidos em estudos desenvolvidos com o sistema teste de *A. cepa*, frente às concentrações de *Synadenium grantii* Hook. (Euphorbiaceae) e *Plectranthus barbatus* (Lamiaceae), sendo possível a observação do efeito sobre CSR bem como alterações no IM (FERNANDES *et al.*, 2018; BEZERRA *et al.,* 2016).

O crescimento do sistema radicular está ligado à intensa atividade mitótica que acontece no tecido meristemático (BEZERRA *et al.*, 2016), de modo que a redução no comprimento das raízes permite inferir que os extratos inibiram o processo de divisão celular, sendo este resultado corroborado pela análise microscópica, com a redução do IM. Estudos de citogenotoxicidade de *Zingiber officinale* (Zingiberaceae) realizados por meio do sistema *A. cepa*, apresentaram resultados semelhantes a este, com redução tanto para o CSR quanto para o IM (CARDOSO *et al.*, 2018), evidenciando o efeito citotóxico das espécies estudadas.

A divergência entre os extratos aquosos (EAI e EAD) da folha pode ser explicada tanto pela composição como pela quantidade de metabólicos extraídos, considerando-se que a elevada temperatura na obtenção dos extratos, pode provocar mudanças estruturais irreversíveis em substâncias termolábeis (TIWARI *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.,* 2016; Sá Jr *et al.*, 2016).

Os extratos obtidos a partir de folhas de B. crassifolia, nas concentrações de 2, 4 e 8 mg / mL, promoveram alterações cromossômicas em 0,05%, 0,15% e 0,20%, sendo um número de (09) células do total analisadas em cada concentração (Figura 2).

Figura 2 – Fases do ciclo celular observadas em células meristemáticas de raízes dos bulbos de Allium cepa submetidos à extratos aquosos de Byrsonima crassifolia. A e B: intérfase (I); C: prófase (P); D: metáfase (M);E: metáfase irregular (M.I); F: anáfase (A); G: anáfase com ponte cromossômica (A.P.); H: telófase (T); Barra = 5,60 µm.

Os resultados deste estudo confirmam que extratos de uma mesma planta, e até mesmo da mesma parte do vegetal, podem promover respostas diferenciadas conforme o método utilizado para sua obtenção. Essas diferenças podem ser explicadas pela escolha do material vegetal, pois extratos do tipo decocto são mais eficazes na extração de metabólicos de partes relativamente duras e resistentes da planta, como a casca, enquanto o infuso se mostra mais eficiente na extração de partes tenras do vegetal, como as folhas (SANTOS *et al.*, 2013).

A divergência entre os extratos avaliados indica que a metodologia utilizada na preparação dos mesmos está diretamente relacionada à sua capacidade de ação. Assim sendo, é de suma importância considerar fatores que influenciam a eficiência na extração dos compostos bioativos como, por exemplo, a parte do vegetal, a temperatura e o solvente utilizado, sendo este diretamente relacionado à especificidade do composto que se pretende extrair (TIWARI *et al.*, 2011; RÊGO *et al.,* 2020).

Os extratos aquosos de partes da casca e folha de B. crassifolia apresentaram efeito citotóxico no CSR e uma redução do IM nas células meristemáticas de A. cepa em função do aumento nas concentrações testadas, evidenciando potencial citotóxico e indicando ausência de potencial genotóxico.

4. CONCLUSÃO

Os extratos aquosos do tipo infuso e decocto com as folhas e cascas do caule de Byrsonima crassifolia mostrou redução do crescimento das raízes e índice mitótico em função do aumento nas concentrações testadas nas células meristemáticas de Allium cepa.

Byrsonima crassifolia apresentou em seus extratos da casca e folha tanto no tipo infuso como decocto um potencial citotóxico sobre o teste de Allium cepa. O baixo índice de alterações cromossômicas mostra que o mesmo não apresenta potencial genotóxico.

REFERÊNCIAS

Pessoa SPM, Pinheiro AP, Moraes JQ, Añes RNS, Nunes, Pass, ARRUDA ND *et al.*Conhecimento dos alunos do ensino médios de um colégio estadual de Tangará da Serra -MT sobre plantas medicinais. Revista Gestão Universitária. 2018;10(1):1-13. Disponível em: http://www.gestaouniversitaria.com.br/system/scientific_articles/files/000/000/423/orig in al/Artigo_de_etnobotanica.pdf?1531495576.

Barcelos MEF. Relação do fluxo de íons (H+) em raízes com as atividades alelopáticas e mutagênicas do extrato etanólico e da nanodispersão de *Mikania glomerata* Spreng.Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2019. 67-79. (Tese – Doutorado em Biologia Vegetal).

Bejar E, Amarquaye A, Che C, Malone MH, Fong HHS. Constituents of *Byrsonima crassifolia* and their Spasmogenic Activity. International Journal of Pharmacognosy. 1995;33(1):25-32.

Martínez-Vázquez M, González-Esquinca AR, Cazares Luna L, Moreno Gutiérrez MNM,García-Argáez AN. Antimicrobial activity of *Byrsonima crassifolia* (L.) H.B.K. J. Ethnopharmacol. 1999;66(1):79–82.

Gellen LFA, Silva EHC. Atividade antimicrobiana de extratos de raízes de *Byrsonimacrassifolia*. J. Bioen. Food Sci. 2016;3(1):63-71.

Rastrelli L, Detommasi N, Berger I, Caceres A, Saravia A, De Simone F. Glycolipids from *Byrsonima crassifolia*. Phytochemistry. 1997;45(4):647-650.

Andrade BS, Matias R, Corrêa BO, Oliveira AKM, Guidolin DGF, Roel AR. Phytochemistry, antioxidant potential and antifungal of *Byrsonima crassifolia* on soil phytopathogen control. Braz. J. Biol. 2018;78(1):140-146.

Rezende CM, Fraga SRG. Chemical and aroma determination of the pulp and seeds of murici (*Byrsonima crassifolia* L.). J. Braz. Chem. Soc. 2003;14(3):425-428.

Alves GL, Franco MRB. Headspace gas chromatography-mass spectrometry of volatile compounds in murici (*Byrsonima crassifolia* L. Rich). Journal of Chromatography A. 2003;985(1/2):297-301.

Grant WF. Chromosome aberration assays in *Allium*: A report of the US Environmental Protection Agency gene-tox program. Mutation Research / Reviews in Genetic Toxicology. 1982;99(3):273-291.

Lessa LR, da Silva MCC, Cariello FDMR. Fundamentos e aplicações do *Allium cepa* como bioindicador de mutagenicidade e citotoxicidade de plantas medicinais. Revinter. 2017;10(3):39-48.

Caritá R, Marin-Morales MA. Induction of chromosome aberrations in the *Allium cepa* testsystem caused by the exposure of seeds to industrial effluents contaminated with azo dyes. Chemosphere. 2008;72(5):722-725.

Cabrera GL, Rodrigues DMG. Genotoxicity of soil from farmland irrigated with waste water using three plant bioassays. A Mutation Research (MR). 1999;426(2):211-214.

Fiskesjö G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring. Hereditas. 1985;102(1):99–112.

Babich H, Segal, MA, Fox KD. The *Allium* test - a simple, eukaryote genotoxicity assay. American Biology Teacher. 1997;59(9):580–83.

Vasconcelos ES, Reis MS, Sediyama T, Cruz CD. Estimativas de parâmetros genéticos da qualidade fisiológica de sementes de genótipos de soja produzidas em diferentes regiões de Minas Gerais. Semin. Ciênc. Agrár. 2012;33(1):65-76.

Cruz CD. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. ActaSc. Agron. 2016;38(4):547-552.

Rosa PAF, de Campos Júnior EO, Cocco DDA. biomonitoramento no córrego olaria, monte carmelo-mg utilizando o teste *Allium cepa*. GeTeC. 2017;6(14):44-55.

Bezerra CM, Dinelly CMN, Oliveira MAS. Avaliação da toxicidade, citotoxicidade e genotoxicidade do infuso de malva-santa *plectranthus barbatus* (*lamiaceae*) sobre o ciclo celular de *allium cepa.* Eletronic Journal of Pharmacy**.** 2016;XIII(3):220-228.

Coelho APD, Laughinghouse IVHD, Kuhn AW, Boligon A A, Canto-Dorow TSD, Silva ACFD, *et al.* Genotoxic and antiproliferative potential of extracts of *Echinodorus grandiflorus* and *Sagittaria montevidensis* (Alismataceae). Caryologia. 2017;70(1):82-91.

Silva FDB, Sales MAG, Sá ORM, Santana GM, Deus MSM, Castro e Sousa JMC, *et al.* Potencial citotóxico, genotóxico e citoprotetor de extratos aquosos de *Caesalpinia pyramidalis* Tul., *Caesalpinia ferrea* Mart., e *Caesalpinia pulcherrima* Sw.. R. bras. Bioci.2015;13(2):101-109.

Tiwari P, Kumar B, Kaur M, Kaur G, Kaur H. Phytochemical screening and extraction: AInternationale Pharmaceutica Sciencia (IPS). 2011**;**1(1):98-106.

Rêgo Farias ET, dos Santos AF, Lopes MF, Bezerra JM, da Silva FVG. Compostos bioativos e capacidade antioxidante em frutos de noni, *Morinda citrifolia* Linn. Revista Verde. 2020;15(1):6-13.

Fernandes JFN, Silva BSS, Fontes RMS, Cândido WP, et al. Avaliação do potencial citotóxico e mutagênico/genotóxico do látex de janaúba (*Synadenium grantii* Hook. f., Euphorbiaceae). Rev. Pan-Amaz Saúde. 2018;9(1):59-65.

Cardoso ES, Rossi AAB, de Pedri ECM, da Rocha VD, Rodrigues AS, Fagundes PAS. Avaliação do potencial citogenotóxico de *Zingiber officinale* Roscoe (gengibre), Zingiberaceae. Rev. Cuba Plantas Med. 2018;24(1):1-13.

Oliveira VB, Zuchetto M, Oliveira CF, Paula AFS, Miguel MD, Miguel OG. Efeito de

diferentes técnicas extrativas no rendimento, atividade antioxidante, doseamentos totais e no perfil por clae-dad de *Dicksonia sellowiana* (presl.). Hook, Dicksoniaceae. Rev. Bras. Pl. Med. 2016;18(1):230-239.

Sá Jr PF, Muniz EB, Pereira NA, Oliveira MAS. Atividade antimicrobiana *in vitro* dos extratos aquosos, hidroalcoólicos e alcoólicos de espécies da Anarcadiaceae. Rev. Ciênc. Méd. Biol. 2016;15(1):56-61.

Santos PL, Prando MB, Morando R, Pereira GVN, Kronka AZ. Utilização de extratos vegetais em proteção de plantas. Enciclopédia Biosfera. 2013;9(17):2562-2576.

CAPÍTULO 09

RELIABILITY OF PORTABLE ELECTRICAL IMPEDANCE MYOGRAPH SKULPT® FORMORPHOLOGICAL MEASURES OF *VASTUS LATERALIS*

Ewertton de Souza Bezerra
Dr
Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Faculdade de Medicina Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil; Laboratório de Performance Humana, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil
Endereço: R. Afonso Pena, 1053 - Centro, Manaus - AM, 69020-160
E-mail: ewertton_bezerra@ufam.edu.br

Fábio Juner Lanferdini
Dr
Laboratório de Biomecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil
Endereço: Prédio Administrativo do Centro de Desportos – CDS, Campus Universitário – Trindade, 88040-900 - Florianópolis – SC
E-mail: fabiolanferdini@gmail.com

Morgana Lunardi
Me
Programa de Pós-graduação em Educação Física, Laboratório de Biomecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil
Endereço: Prédio Administrativo do Centro de Desportos – CDS, Campus Universitário – Trindade, 88040-900 - Florianópolis – SC
E-mail: morganalunardi.edf@gmail.com

Rafael Luiz Sakugawa
Dr
Programa de Pós-graduação em Educação Física, Laboratório de Biomecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil
Endereço: Prédio Administrativo do Centro de Desportos – CDS, Campus Universitário – Trindade, 88040-900 - Florianópolis – SC
E-mail: rlsakugawa@gmail.com

Rômulo de Oliveira Sena
Esp
Programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, Brasil
Endereço: R. Afonso Pena, 1053 - Centro, Manaus - AM, 69020-160
E-mail: romuloflc@yahoo.com.br

Fernando Diefenthaeler
Dr
Programa de Pós-graduação em Educação Física, Laboratório de Biomecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil
Endereço: Prédio Administrativo do Centro de Desportos – CDS, Campus Universitário – Trindade, 88040-900 - Florianópolis – SC
E-mail: fernando.diefenthaeler@ufsc.br

ABSTRACT: New devices with clinical applicability are needed to provide fast and precise diagnostics.In this way, the aim of this study was to verify the reliability of the portable electrical impedance myograph (PEIM) Skulpt® for morphological measures of the *vastus lateralis*(VL). MATERIALS AND METHODS: A cross-sectional evaluation was designed on anindependent limb to verify reliability between the PEIM Skulpt® and ultrasound (US) for VL muscle morphological measures. Twelve health men (age=32.17±8.90 years) participated in the study, being evaluated muscle quality (MQ) and fat mass (%FAT) withthe PEIM on the frontal thigh position, and echo intensity (EI) and muscle and fat thickness (MT and FT) with the US. RESULTS: Equipment reliability (US vs. PEIM) indicated a moderate correlation [r=-0.53; p=0.770] between MQ and EI. Conversely, intra-rater reliability indicated moderate consistency for EI (p=0.021) and excellent for MT (p=0.008) and FT (p<0.001). In addition, excellent consistency was indicated for MQ(p<0.001) and %FAT (p<0.001). Proposed equations were applied in the contralateral lower limb (n=12). Subsequently, a Bland-Altman plot presented lower bias and higher agreement limits for both adjustment equations for PEIM between the MT and FT with MQ and %FAT, respectively. CONCLUSION: In summary, our results indicate moderate intra-rater reliability consistency for EI, excellent for MT and FT, and excellent for MQ,and %FAT. In addition, our proposed adjustment equation presents clinical application tocontrol %FAT and MQ with different possibilities of application in adults, as it can be applied in aesthetics, health control, and even physiotherapeutic treatments.

KEYWORDS: Muscle quality; Portable electrical impedance; Vastus lateralis.

RESUMO: Novos dispositivos com aplicabilidade clínica são necessários para fornecer diagnósticosrápidos e precisos. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi verificar a confiabilidade domiógrafo portátil de impedância elétrica (PEIM) Skulpt® para medidas morfológicas domúsculo vasto lateral (VL). MATERIAIS E MÉTODOS: Foi elaborada uma avaliação transversal em membros inferiores independentes para verificar a confiabilidade entre o PEIM Skulpt® e o ultrassom (US) para medidas morfológicas do músculo VL. Doze homens saudáveis (idade=32,17±8,90 anos) participaram do estudo, sendo avaliados a qualidade muscular (QM) e a massa gorda (%GORDURA) com o PEIM na posição frontal da coxa, e eco intensidade (EI) e espessura muscular e do tecido adiposo subcutaneo (EM e ETAS) com o US. RESULTADOS: A confiabilidade do equipamento(US vs. PEIM) indicou correlação moderada [r=-0,53; p=0,770] entre QM e EI. Por outrolado, a confiabilidade intra-examinador indicou consistência moderada para EI (p=0,021)e excelente para EM (p=0,008) e ETAS (p<0,001). Além disso, excelente consistência foiindicada para QQ (p <0,001) e %GORDURA (p <0,001). As equações propostas foram aplicadas no membro inferior contralateral (n=12). Posteriormente, um gráfico de Bland-Altman apresentou menor viés e maiores limites de concordância para ambas as equaçõesde ajuste para PEIM entre EM e ETAS com QM e %GORDURA, respectivamente. CONCLUSÃO: Em resumo, nossos resultados indicam consistência moderada de confiabilidade intra-examinador para EI, excelente para EM e ETAS, bem como para QMe %GORDURA. Além disso, nossa proposta de equação de ajuste apresenta aplicação clínica para controle do %GORDURA e QM com diferentes possibilidades de aplicaçãoem adultos, pois pode ser aplicada em estética, controle de saúde e até mesmo em tratamentos fisioterapêuticos.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade muscular; Impedância elétrica portátil; Vasto lateral.

1. INTRODUCTION

Skulpt® is a portable electrical impedance myograph (PEIM) device with twelve electrodes, which measures electrical current flow in different directions and to different depths. Impedance-based devices assess two components (i.e.; fat mass and fat free mass),however, the bioelectric impedance technique reports a constant measurement error and greater variability (BOSY-WESTPHAL et al. 2017; DUREN et al. 2008). An example, is that the fat mass percentage ranged from 0.6% to 78.5% when using bioelectrical impedance (VANSANT et al. 1994). Proper interpretation of bioelectric impedance results requires acknowledgement that the tool actually only measures the response to thepassage of an electric current through the body (GONZALES et al. 2019); and the resultsof bioelectric impedance are dependent on the chosen device.

According to the manufacturer, this specific PEIM can separate out the muscle from fat in just a matter of seconds, and is also capable of measuring body fat percentage(%FAT) and muscle quality (MQ). Despite information that the device has a measurement accuracy of 1-2% for fat percentage compared to the gold standard (Dual Energy X-ray Absorptiometry - DEXA), further studies are needed to verify the reliabilityand validity for both fat percentage and muscle quality measures. A useful, non-invasive,and easy to handle technique that allows real-time visualization of the muscle and fat content for comparison with results of the PEIM, is muscle ultrasound - US (PILLEN; VAN ALFEN, 2011).

US is commonly used for muscle thickness (MT) measurement (BJORNSEN et al. 2016; DE BOER et al. 2008; LI et al. 2013; REEVES et al. 2009). However, the US has also been used to quantify echo intensity (EI), which reflects muscle quality (LANFERDINI et al. 2019; PALMER et al. 2015; RUAS et al. 2017; SANTOS; ARMADA-DA-SILVA, 2017). The infiltration of fat and fibrous tissues increases the number of echoes or reflections from the ultrasound within the muscle, which is directly correlated with increases in EI and, consequently, worsening muscle quality (WATANABE et al. 2018). Another possibility for US is the measure of fat thickness (FT), which presents high reliability (ISHIDA et al. 1992; WAGNER et al. 2020).

Based on the high quality of muscle measures provided by US, we used the measures of FT and EI to qualify the results of %FAT and MQ of the PEIM Skulpt®. The aim of this study was to verify the reliability of the PEIM Skulpt® for morphological measures of the vastus lateralis (%FAT and MQ).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Study design

A cross-sectional study in an independent limb was designed to verify reliability between the PEIM Skulpt® and US for lower limb skeletal muscle morphological measures (muscle quality and fat mass). Participants came to the laboratory once and aftera brief explanation about the experimental procedure, they signed a consent form. Anthropometric measures were taken, and each lower limb was measured with manual portable bioimpedance on the frontal thigh position (recommended in the PEIM manual),followed by the US measure. All measures were taken in a lying position.

2.2 Participants

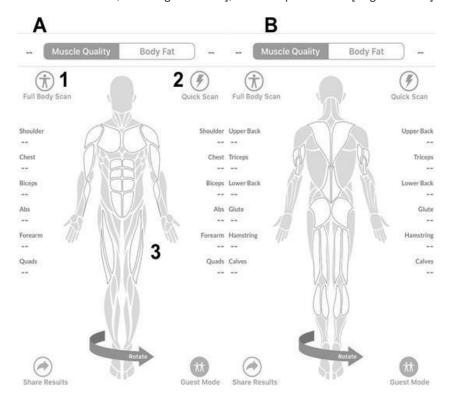
Twelve men volunteered for this study, (age=32.17±8.90 years; height= 1.78±0.04 m; weight=75.82±12.61 kg). The volunteers had not experienced muscle damage in the previous 3 months, and were instructed not to perform physical activity inthe 48 hours prior to data collection, and to maintain their usual diet. This study was conducted according to the declaration of Helsinki, and all procedures were approved bythe local Institutional Research Ethics Committee (nº 32063720.9.0000.0121). All participants were informed of the benefits and risks of the investigation prior to signing an institutionally approved informed consent document to participate in the study.

2.3 Electrical impedance myograph procedure

The PEIM (Skulpt Scanner™, San Francisco, USA) device is registered in the United States under a published patent application (US 2016/0157749 A1). This document contains all information necessary to calculate the muscle quality and fat mass percentage (https://patents.google.com/patent/US20160157749A1/en). According to the manufacturer, the device emits an electrical current with different frequencies, directions, and depths. Thereafter, an application on a smartphone, connected to the device, providesinformation regarding the body fat percentage.

A smartphone interface is able to access a full body (12 muscle groups), a quick (3 muscle groups), or a single (individual muscle of the 12 available) analysis (Figure

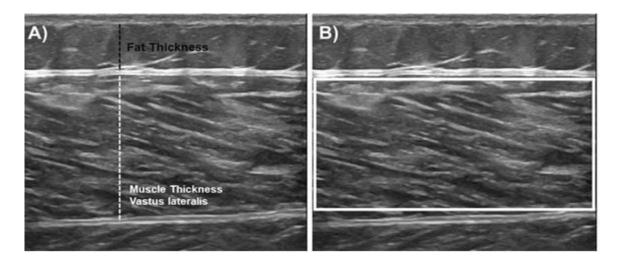
1). To address reproducibility, three measurements were conducted on the anterior thigh measure with a 3 min interval between them. The mean value between the 3 measurements was adopted for the reliability statistics. Muscle quality score represents: 0-20: needs work; 20-40: fair; 40-60: good; 60-80: fit; 80-100: athletic. In addition, the fat mass percentage score represents: 26-100: needs work; 22-25: fair; 19-21: good; 13-18: fit; 4-12: athletic.

Figure 1 – Smartphone interface available during PEIM analysis: A. anterior view and B. posterior view. Numbers indicate three options for muscle quality or body fat analysis: 1. Full body [white contrast area, 12 muscle groups on each side of body (left/right)], 2. Quick scan [arm posterior, abdominal, and thigh muscle], and 3. Specific site [thigh muscle].

2.4 Muscle morphologic by ultrasound

Data collection of US variable images was conducted using the ultrasound systemin B-mode (LOGIQ S7 Expert, General Electric, Milwaukee, USA). A 50 mm wide linear probe (6 -15 MHz linear array) was used to extract the image of the vastus lateralis (VL) muscle with the probe placed longitudinal to the thigh, without pressure distortion. The measurements were recorded from the central point of a straight line, connecting the greater trochanter and the lateral epicondyle of the femur with the

ventral iliotibial band.The equipment was configured as: image depth of 60 mm, 90 dB of general gain, and time gain control at the neutral position of hip and knee joints (SANTOS; ARMADA- DA-SILVA, 2017).

US analysis was conducted using ImageJ 1.42q software (National Institute of Health, Bethesda, USA) and included measurements of the FT, MT, and EI. FT was determined by the perpendicular distance between skin and superficial aponeurosis (Figure 2A). MT was defined as the perpendicular distance between the superficial and deep aponeurosis of the VL (Figure 2A). EI was determined in the regions of interest using the mean value of a standard gray-scale histogram function, with values ranging between 0 (black) and 255 (white). The regions of interest consisted of the largest rectangle positioned between the aponeurosis of the VL (Figure 2B) as proposed by Santos e Armada-da-Silva (2017).

Figure 2 – Ultrasonography of vastus lateralis muscle. Illustration measurement of ultrasound of the fat andmuscle thickness (A) and region of interest of echo intensity analysis (B).

2.5 Statistical analysis

Data normality and homogeneity were verified by the Shapiro-Wilk and Levene's tests, respectively. All skeletal muscle morphological and under skin fat measures were analyzed from the mean, standard deviation (SD), coefficient of variation (CV), standarderror of the measurement (SEM), minimum detectable change (MDC), and intraclass correlation coefficient (ICC). The ICC was used to correlate the skeletal muscle morphological measures between the two devices (PEIM *vs.* US) and intra-rater reliability, analyzing the variation in data measured by 1 rater across 2 or more

trials for MQ and %FAT, and EI, MT, and FT. The ICC was classified as excellent (r > 0.90); good (r = 0.75 - 0.90); moderate (r = 0.50 - 0.75); or poor (r < 0.50) described in Koo e Li(2016).

The paired-sample t-test was used to compare the between-instruments difference. Significance level was set at $p < 0.05$ for all analyses, with SPSS software (IBM SPSS, Armonk, New York, USA). The SEM was calculated for both devices according to the method described in Weir (2005) and the MDC was estimated based on a 95% confidenceinterval (95% CI), where MDC = 1.96 * SEM (SCHWENK et al. 2012). The Bland- Altman graph was used to illustrate the correlation between the measurements obtained by the two instruments, and aimed at identifying the bias [mean difference between US (validated standard) and PEIM Skulpt® (predictor)] and the limits of agreement (±1.96 standard deviations or the 95% limits of agreement). All Bland-Altman analysis was performed using the MedCalc statistical software package (MedCalc Software Ltd, Ostend Belgium).

3. RESULTS

3.1 Intraclass correlation coefficient (icc)

Equipment reliability (US *vs.* PEIM) indicated a moderate correlation [r=-0.53, p=0.770, 95% confidence interval (IC)=-3.81 − 0.54] for the muscle quality measure between the PEIM and US. Conversely, intra-rater reliability indicated moderate consistency for EI (p=0.021), excellent for MT (p=0.008), and excellent for FT (p<0.001) for the US device, as well as, excellent for muscle quality (p<0.001), and FAT% (p<0.001) for the PEIM device, as shown in Table 1.

Table 1 – Intra-rater reliability (intraclass correlation coefficient - ICC), 95% confidence interval (95%IC),coefficient of variation (CV), standard error of the measurement (SEM), and minimum detectable change (MDC), for morphologic muscle and under skin fat measures in ultrasound (US) and portable electrical impedance myograph (PEIM) devices.

Morphologic Measures	Device	M1	M2	r	ICC Lower 95% IC	ICC Upper 95% IC	CV (%)	SEM	MDC
EI (A. U.)	US	75.1±11.9	75.4±12.7	0.75	0.53	0.92	14.5	3.15	6.17
MT (cm)	US	2.2±0.4	2.2±0.4	0.99	0.98	0.99	18.3	0.11	0.21
FT (cm)	US	0.30±0.12	0.30±0.12	0.99	098	0.99	43.3	0.38	0.75
MQ (%)	PEIM	66.3±22.7	63.7±21.8	0.98	0.93	0.99	33.8	6.35	12.4
FAT (%)	PEIM	16.7±6.2	17.6±7.5	0.97	0.92	0.99	39.9	1.97	3.86

Note: M1: first measure; M2: second measure; EI - echo intensity; MT - muscle thickness; FT - fat thickness; MQ - muscle quality (percentage); FAT - fat mass.

3.2 Linear regression equation

The paired t-test did not show a difference between EI and MQ (75.28 ± 10.91 and 65.0 ± 22.01, respectively, p=0.210). Despite this, Pearson´s analysis presented a poor correlation between EI and MQ (r=-0.31, p=0.310). Conversely, a significant correlation was observed between MQ and MT (r=0.60, moderate, p=0.042). In addition, FT also presented a significant correlation with %FAT (r=0.62, moderate, p=0.030). The linear regression analysis is presented in table 2 for MT and FT measures (dependent variables) and MQ and %FAT (independent variables).

Table 2 – Parameters of the simple linear regression for portable electrical impedance myograph measures(randomized lower limb, n=12).

	Coefficient	Std. error	95%CI	p	R^2
Constant **MQ-PEIM**	1.5236 0.0113	0.0040	0.00051 – 0.022	0.041	0.35
Constant **%FAT-PEIM**	0.116 0.0109	0.0043	0.00110 – 0.020	0.032	0.39

Note: MQ-PEIM - Muscle quality (BIA-MQ); %FAT-PEIM - fat mass percentage.

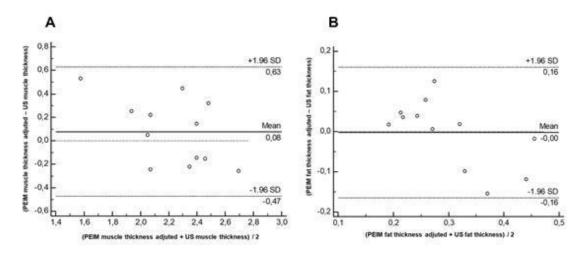
Thus, the following equation was built to adjust the agreement with the US measure for MT and FT based on MQ and %FAT:

Eq1: Muscle thickness (cm) = 1.5236 + 0.01128 *(MQ)

Eq2: Fat thickness (cm) = 0.116 + 0.0109*(%FAT)

3.3. Agreement

The equations expressed above were applied to the contralateral lower limb (n=12). Bland-Altman plots showing bias and limits of agreement between the MT and FT with MQ and %FAT is shown in Figure 3, respectively.

Figure 3 – Bland-Altman plot between ultrasound (US) and portable electrical impedance myograph (PEIM)measures: **A)** PEIM muscle thickness adjusted and US muscle thickness; **B)** PEIM fat thickness adjusted and US fat thickness. Dashed lines represent 95% upper and lower limits of agreement (± 1.96 SD) and mean difference. Continuous line represents a reference for zero mean difference.

4. DISCUSSION

The purpose of this study was to analyze reliability and validity between the PEIM Skulpt® and US for lower limb skeletal muscle morphological measures in recreationally active men. A significant finding of the current study was that US versus PEIM reliability indicated a moderate correlation for the muscle quality measure (EI vs. MQ). Furthermore, intra-rater reliability indicated moderate consistency for EI, and excellent for MT and FT in the US device, as well as, excellent for MQ, and %FAT in the bioimpedance device. Conversely, EI and MQ presented a poor correlation, and moderate correlations were observed between MQ and %FAT with MT and FT, respectively. For these reasons, we proposed an adjustment equation that presented lower bias and higher agreement limits for both adjustment equations to BIA in the Bland-Altman plot.

Results of reliability of EI (r=0.75) and MT (r=0.99) demonstrated good-excellent values, which agrees with previous studies that evaluated the reliability of the measurements obtained by the US (LANFERDINI et al. 2019; LIN et al. 2015; PALMER et al. 2015; RUAS et al. 2017; SANTOS; ARMADA-DA-SILVA, 2017). However, a moderate correlation was found between MT and MQ (r=0.60), and EI presented a poor negative correlation with MQ (r=-0.31). These results demonstrate that MQ is more associated with muscle size (MT) than with possible internal changes in muscle tissue (EI). Therefore, MQ can be used, for example, to assess muscle hypertrophy in a strengthtraining program. However, EI and MT data showed lower SEM and MDC values whencompared to MQ data (Table 1). Therefore, we propose that the MQ data could be corrected using Equation 1 proposed by the present study, although the Bland-Altman test does not show any differences between EI and MQ measurements.

Moreover, FT (r=0.99) and anterior thigh %FAT results (r=0.97) showed excellent reliability of measurements. However, FT data showed lower SEM and MDC values when compared to %FAT data (Table 1). Therefore, we propose a second equation to correct the MQ data, although the Bland-Altman test does not show any differences between FT and %FAT measurements. The estimate of the percentage of fat through bioimpedance assessment may have measurement errors of approximately <4% for male bodybuilders (GRAYBEAL et al. 2020). While the direct measurement of subcutaneous fat performed using the US technique is highly reliable, it does not consider the internal fat of the muscle tissue (WAGNER, 2013). Therefore, these differences in data collectionand analysis by different devices could partially explain the differences found between the FT and %FAT.

Another possible explanation for the non-linearity of the results (US *vs.* PEIM) isrelated to the specific characteristics of each device. The US system acquires data using linear probes (e.g., 50mm) that propagate waves using piezoelectric crystals (ZHOU et al. 2014). The PEIM system is 72.4 cm^2 and emits an electrical current with different frequencies, directions, and depths. These different characteristics between the two devices could explain the poor correlation between EI and MQ.

Our study has several limitations and delimitations that must be considered whenattempting any extrapolation. First, the results are specific to the quadriceps and cannot necessarily be generalized to other muscle groups. Second, the results are specific to recreationally active men, and cannot necessarily be generalized to women, or other age ranges. Third, we found a moderate association between MT and MQ;

however, cross- sectional area and muscle volume measurements are more reliable for assessing muscle size, which is directly related to the ability of skeletal muscle to produce strength (AKAGI et al. 2018; JONES et al. 2008). Therefore, it would be interesting in future studies to assess the reliability of MQ measurements by cross-sectional area. Despite this, MT demonstrated a good correlation (0.82) with cross-sectional area measurements by magnetic resonance imaging on VL muscle (FRANCHI et al. 2018). FT represents a reliable measure of the subcutaneous adipose tissue, although %FAT is an indirect measure, our results showed that it is possible to estimate the adipose tissue site (e.g., anterior thigh) almost as for MT by ultrasound, by applying an adjustment equation.

Based on our results, intra-rater reliability indicated consistency for US measures (EI, MT, and FT) and PEIM measures (MQ and %FAT). In addition, the proposed adjustment equation could be applied to correct the measure of MQ and %FAT for the quadriceps muscle provided by PEIM, decreasing any potential error of measurement. Future research using the total muscle analysis could help to provide clarity on the association of the US measure and PEIM responses. Furthermore, other populations couldbenefit from the clinical measure of PEIM, such as women and older adults.

Therefore, the results of the present study have the following clinical relevance: [1] PEIM is able to assess fat and muscle quality of the anterior thigh with moderate reliability; [2] A simple equation raises the accuracy of PEIM, giving results close to the ultrasound measure.

5. CONCLUSION

In summary, our results indicate moderate intra-rater reliability consistency for EI, excellent for MT and FT, and excellent for MQ and %FAT. In addition, our proposed adjustment equation presents clinical applicability to control FAT and MQ with different application possibilities in adults, and it can be applied in aesthetic, health control, and even physiotherapeutic treatments.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Coordination for the Improvement of Higher Education

Personnel – Brazil - (CAPES) [Finance Code 001] and the National Council of Scientific Research (CNPq) Brazil for the provision of scholarship for FD. And Foundation for Research Support of the State of Amazonas (FAPEAM) and Brazilian National Board forScientific and Technological Development (CNPq) [Finance Code 001] for support research program Ciências da Saúde of Federal University of Amazonas

REFERENCES

AKAGI, R.; SUZUKI, M.; KAWAGUCHI, E.; MIYAMOTO, N.; YAMADA, Y.; EMA R. Muscle size-strength relationship including ultrasonographic echo intensity and voluntary activation level of a muscle group. **Archives of Gerontology and Geriatrics**,v. 75, p. 185-190, 2018. doi:10.1016/j.archger.2017.12.012

BJORNSEN, T. et al. Vitamin C and E supplementation blunts increases in total lean body mass in elderly men after strength training. **Scandinavian Journal of Medicine &Science in Sports**, v. 26 n. 7, p. 755-763, 2016. doi:10.1111/sms.12506

BOSY-WESTPHAL, A.; JENSEN, B.; BRAUN, W.; POURHASSAN, M.; GALLAGHER, D.; MULLER, M. J. Quantification of whole-body and segmental skeletal muscle mass using phase-sensitive 8-electrode medical bioelectrical impedance devices. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 71, n. 9, p. 1061-1067, 2017. doi:10.1038/ejcn.2017.27

DE BOER, M. D. et al. Effect of 5 weeks horizontal bed rest on human muscle thicknessand architecture of weight bearing and non-weight bearing muscles. **European Journalof Applied Physiology**, v. 104, n. 2, p. 401-407, 2008. doi:10.1007/s00421-008-0703-0

DUREN, D. L. et al. Body composition methods: comparisons and interpretation. **Journal of Diabetes Science and Technology**, v. 2, n. 6, p. 1139-1146, 2008. doi:10.1177/193229680800200623

FRANCHI, M. V. et al. Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in theassessment of strength training-induced hypertrophy. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 28, n. 3, p. 846-853, 2018. doi:10.1111/sms.12961

GONZALES, J. M.; GALPIN, A. J.; MONTGOMERY, M. M.; PAMUKOFF, D. N. Comparison of lower limb muscle architecture and geometry in distance runners with rearfoot and forefoot strike pattern. **Journal of Sports Sciences**, v. 37, n. 19, p. 2184- 2190, 2019. doi:10.1080/02640414.2019.1626050

GRAYBEAL, A. J.; MOORE, M. L.; CRUZ, M. R.; TINSLEY, G. M. Body Composition Assessment in Male and Female Bodybuilders: A 4-Compartment Model Comparison ofDual-Energy X-Ray Absorptiometry and Impedance-Based Devices. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 34, n. 6, p. 1676-1689, 2020. doi:10.1519/JSC.0000000000002831

ISHIDA, Y.; CARROLL, J. F.; POLLOCK, M. L.; GRAVES, J. E.; LEGGETT, S. H. Reliability of B-mode ultrasound for the measurement of body fat and muscle thickness.**American Journal of Human Biology**, v. 4, n. 4, p. 511-520, 1992. doi:10.1002/ajhb.1310040410

JONES, E. J.; BISHOP, P. A.; WOODS, A. K.; GREEN, J. M. Cross-sectional area andmuscular strength: a brief review. **Sports Medicine**, v. 38, n. 12, p. 987-994, 2008. doi:10.2165/00007256-200838120-00003

KOO, T. K.; LI, M. Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 15, n. 2, p.155-163, 2016. doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012

LANFERDINI, F. J.; MANGANELLI, B. F.; LOPEZ, P.; KLEIN, K. D.; CADORE, E. L.; VAZ, M. A. Echo Intensity Reliability for the Analysis of Different Muscle Areas in Athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 33, n. 12, p. 3353-3360, 2019. doi:10.1519/JSC.0000000000003063

LI, R. et al. Costamere remodeling with muscle loading and unloading in healthy young men. **Journal of Anatomy**, v. 223, n. 5, p. 525-536, 2013. doi:10.1111/joa.12101

LIN, Y. C.; FOK, L. A.; SCHACHE, A. G.; PANDY, M. G. Muscle coordination of support, progression and balance during stair ambulation. **Journal of Biomechanics**, v. 48, n. 2, p. 340-347, 2015. doi:10.1016/j.jbiomech.2014.11.019

PALMER, T. B.; AKEHI, K.; THIELE, R. M.; SMITH, D. B.; THOMPSON, B. J. Reliability of panoramic ultrasound imaging in simultaneously examining muscle size and quality of the hamstring muscles in young, healthy males and females. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 41, n. 3, p. 675-684, 2015. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2014.10.011

PILLEN, S.; VAN ALFEN, N. Skeletal muscle ultrasound. **Neurological Research**, v. 33, n. 10, p. 1016-1024, 2011. doi:10.1179/1743132811Y.0000000010

REEVES, N. D.; MAGANARIS, C. N.; LONGO, S.; NARICI, M. V. Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. **Experimental Physiology**, v. 94, n. 7, p. 825-833, 2009. doi:10.1113/expphysiol.2009.046599

RUAS, C. V.; PINTO, R. S.; LIMA, C. D.; COSTA, P. B.; BROWN, L. E. Test-Retest Reliability of Muscle Thickness, Echo-Intensity and Cross Sectional Area of Quadricepsand Hamstrings Muscle Groups Using B-mode Ultrasound. **International Journal of Kinesiolology & Sport Science**, v. 5, n. 1, p. 35-41, 2017. doi:10.1016/j.radi.2017.03.011

SANTOS, R.; ARMADA-DA-SILVA. P. A. S. Reproducibility of ultrasound-derived muscle thickness and echo-intensity for the entire quadriceps femoris muscle. **Radiography (Lond)**, v. 23, n. 3, p. e51-e61, 2017. doi:10.1016/j.radi.2017.03.011

SCHWENK, M.; GOGULLA, S.; ENGLERT, S.; CZEMPIK, A.; HAUER, K. Test-retest reliability and minimal detectable change of repeated sit-to-stand analysis using one bodyfixed sensor in geriatric patients. **Physiological Measurement**, v. 33, n. 11, p. 1931-1946,2012. doi:10.1088/0967-3334/33/11/1931

VANSANT, G.; VAN GAAL, L.; DE LEEUW, I. Assessment of body composition by skinfold anthropometry and bioelectrical impedance technique: a comparative study. **JPEN Journal of Parenteral and Enteral Nutrition**, v. 18. n. 5, p. 427-429, 1994. doi:10.1177/0148607194018005427

WAGNER, D. R. Ultrasound as a tool to assess body fat. **Journal of Obesity**, v. 2013, p.280713, 2013. doi:10.1155/2013/280713

WAGNER, D. R.; TERAMOTO, M.; JUDD, T.; GORDON, J.; MCPHERSON, C.; ROBISON, A. Comparison of A-mode and B-mode Ultrasound for Measurement of Subcutaneous Fat. **Ultrasound in Medicine & Biology**, v. 46. n. 4, p. 944-951, 2020. doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2019.11.018

WATANABE, Y.; IKENAGA, M.; YOSHIMURA, E.; YAMADA, Y.; KIMURA, M. Association between echo intensity and attenuation of skeletal muscle in young and olderadults: a comparison between ultrasonography and computed tomography. **Clinical Interventions in Aging**, v. 13, p. 1871-1878, 2018. doi:10.2147/CIA.S173372

WEIR, J. P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 231-240,2005. doi:10.1519/15184.1

ZHOU, Q.; LAM, K. H.; ZHENG, H.; QIU, W.; SHUNG, K. K. Piezoelectric single crystals for ultrasonic transducers in biomedical applications. **Progress in Materials Science**, v. 66, p. 87-111, 2014. doi:10.1016/j.pmatsci.2014.06.001

CAPÍTULO 10

IMPLANTAÇÃO DE UM NOVO *LAYOUT* DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE MOTOCICLETAS ESTRUTURADO A PARTIR DA METODOLOGIA MASP E FERRAMENTAS *LEAN MANUFACTURING*

Edyones Barros de Oliveira
Mestre em Engenharia de Processos pela Universidade Federal do Pará
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Rua Jorge Luiz Milani, 150, Flores, Manaus-AM, Brasil
E-mail: edyones@hotmail.com

Rui Nelson Otoni Magno
Doutor em Engenharia de Recursos Naturais pela Universidade Federal do Pará
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Rua Augusto Correa, 01, Belém-PA, Brasil E-mail: ruiotoni@ufpa.br

Sil Franciley dos Santos Quaresma
Doutor em Engenharia de Recursos Naturais pela Universidade Federal do Pará
Instituição: Universidade Federal do Pará
Endereço: Rua Augusto Correa, 01, Belém-PA, Brasil
E-mail: silquaresma@ufpa.br

Mariana Pereira Carneiro Barata
Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos
Instituição: Universidade Estado do Pará
Endereço: Travessa Djalma Dutra, 350 – Telégrafo Sem Fio, Belém-PA, Brasil
E-mail: mariana.carneiro@uepa.br

RESUMO: Este estudo visa abordar a implementação de um novo layout de processo fabril de motocicletas de alta cilindrada aplicando a metodologia MASP e ferramentas do *Lean Manufacturing* como um facilitador para tornar-se mais competitivo na estratégia mercadológica. O trabalho foi realizado em uma indústria de montagem de motocicletas localizada na Zona Franca de Manaus, utilizando o método PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) para viabilização após análise de SWOT (*Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats*), na qual foi definido o foco de atuação do projeto. Como resultado, apresentou- se benefícios, tais como: flexibilidade para aumento de capacidade produtiva devido ao novo arranjo do *layout* e redução de 67% *Work In* Process (WIP) que viabilizou 25% da área total industrial; versatilidade no processo de montagem devido aumento da capacitação dos operadores para produção de todos os modelos; redução 5,5% da quantidade de operadores mantendo mesma capacidade produtiva, proporcionando o aumento de 6,4% de produtividade; redução de, no mínimo, 25% no investimento necessário para implementação de novos produtos podendo chegar até 60% dependendo da motocicleta em questão, propiciando a aprovação do lançamento de quatro modelos nos últimos seis meses e evitando o aumento de 51,25% no valor do quadro de ativos; redução anual de R$80.000,00 em custos com peças de reposição e serviço de manutenção preventiva; redução de 15% no consumo de energia elétrica; e diminuição de 5% em parada de linha devido a limitação para alteração do plano de produção. Com isso, proporcionou maior competitividade da marca no mercado brasileiro até mesmo quando comparado a outras marcas do mesmo segmento que já apresentaram estudos de otimização de

processo voltado para o princípio da Produção Enxuta, porém delimitado aos benefícios fabris.

PALAVRAS-CHAVE: MASP; PDCA; *Lean Manufacturing;* SWOT; *Layout*.

ABSTRACT: This study aims to approach the implementation of a new layout of manufacturing process for high displacement motorcycles using the MASP methodology and Lean Manufacturing tools as a facilitator to become more competitive in the marketing strategy. The research was carried out in a motorcycle industry located in the Free Trade Zone of Manaus, using the PDCA method (Plan, Do, Check, Action) for the feasibility after SWOT analysis (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) in which the focus of actions of the project was defined. As a result, benefits were presented, such as: flexibility to increase production capacity due to the new layout arrangement and 67% reduction of Work In Process that made 25% of the total industrial area viable; versatility in the assembly process due to increased training of operators to produce all models; 5,5% reduction of the operator quantity keeping the same productive capacity; a reduction of at least 25% in the investment needed to implement new products, reaching up to 60% depending on the motorcycle in question, enabling the approval of the launch of four models in the last six months and avoiding an increase of 51.25% in value the asset chart; annual reduction of R$ 80,000.00 in costs with spare parts and preventive maintenance service; 15% reduction in electricity consumption; and a 5% decrease in line stoppage due to the limitation to change the production plan. With that, it provided greater brand competitiveness in the Brazilian market even when compared to other brands in the same segment that have already presented studies of process optimization focused on the Lean Production principle but limited to the manufacturing benefits.

KEYWORDS: MASP; PDCA; *Lean Manufacturing;* SWOT; *Layout.*

1. INTRODUÇÃO

A fase positiva ocorrida no início do século XXI no cenário socioeconômico do Brasil, devido ao aumento do poder aquisitivo da população de forma significativa, aumentou a atração de muitas indústrias multinacionais para instalações no território brasileiro (BARROS *et al.*, 2006).

Nesse contexto Manaus, por possuir a política de Zona Franca baseada em incentivos fiscais, gerou interesse de empresas transnacionais da indústria de transformações, devido a oportunidade de reduzirem seus custos e ampliarem margens de lucro. (BARBOSA, 2013).

Dentre os modelos de indústria da região, o polo de Duas Rodas se destaca pela tecnologia de fabricação e de seus produtos, pelo volume faturado e pela cadeia de fornecedores que se forma para seu suprimento. Os incentivos fiscais tornaram os produtos fabricados nessa região mais competitivos do que os de outros estados do País, uma vez que o custo de produção ficou mais baixo (GONTIJO *et al.,* 2010).

Signor (2015) menciona que o mercado de motocicletas cresceu expressivamente no Brasil nas últimas décadas, havendo um aumento da concorrência e da busca por diferenciação, o que fez com que os fabricantes investissem em novas tecnologias, averiguando o retorno da inovação em número de vendas.

Souza (2018) expõem que para as empresas mantenham-se competitivas no mercado tem que exigir o máximo de eficiência no setor produtivo sendo necessário que seja mínimo o tempo perdido no processo.

Quando se trata de competitividade, para Camargo (2018) a figura do consumidor é importante para as empresas, pois ele determina como elas devem se comportar para atender aos seus anseios.

Logo, é cada vez mais nítida a preocupação das indústrias na busca da entrega para tal satisfação que varia de uma linha de produto a outra, porém para o mercado algumas características têm sido de grande valia, tais como: custo, tempo de reação, maior variedade de produtos e, além disso, customização (TBM, 1999 apud MORAES, 2003).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Produção de motocicletas no brasil

Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO) que representa os interesses dos fabricantes de veículos de duas rodas no Brasil concentra e divulga os dados do segmento. A fabricação nacional de motocicletas, quase totalmente concentrada no Polo Industrial de Manaus (PIM).

O Polo Industrial de Manaus é um dos mais modernos da América Latina, reunindo indústrias de ponta das áreas de eletroeletrônica, veículos de duas rodas, produtos ópticos, produtos de informática e indústria química (SUFRAMA, 2019).

De acordo com ABRACICLO (2020), a motocicleta é dividida nas categorias de baixa, média e alta cilindrada, onde varia a definição de acordo com o valor dos centímetros cúbicos de deslocamento volumétrico dos motores, sendo baixa cilindrada com até 160 centímetros cúbicos, média cilindra acima de 160 até 450 centímetros cúbicos e alta cilindra acima de 450 centímetros cúbicos.

Em janeiro de 2020, a produção em 2020 deveria alcançar 1.175.000 motocicletas, correspondendo a uma alta de 6% comparado com as 1.107.758 unidades fabricadas em 2019 (ABRACICLO, 2020).

Dado novo cenário de pandemia no mundo, a ABRACICLO revisou suas projeções para 2020. A nova estimativa para fechar o ano é de 967.000 motocicletas produzidas, o que representaria retração de 15,4% na comparação com 2019. Porém, após a divulgação do fechamento de 2020 tiveram 961.986 motocicletas considerando exportação e varejo. Em janeiro de 2021 foi divulgado pela a ABRACICLO a projeção de 2021 de 1.060.000 motocicletas produzidas.

2.2 Princípio da filosofia *lean thinking*

Conforme mencionado por Dantas (2016), o termo *Lean* traduzido por enxuto, foi originalmente citado e denominado por John Krafcik (1988) em seu artigo *Triumph of the Lean Production System*.

Apesar de a Toyota ter sido a pioneira na abordagem do *Lean Manufacturing*, o conceito foi publicado pela primeira vez em um livro chamado *“The Machine that*

Changed the World" (WOMACK e JONES, 1990); que destacou principalmente os métodos de produção japoneses, em comparação com os sistemas tradicionais de produção em massa. O livro seguinte, *"Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Organization"* (WOMACK e JONES, 2003), também foi uma contribuição marcante na história do *Lean Manufacturing*, uma vez que resume os princípios e cunhou a expressão Produção Enxuta.

De acordo com Azevedo (2014), o Sistema Toyota de Produção (STP) teve sua essência de modelo absorvida por outros autores, e criaram uma filosofia conhecida como *Lean Thinking* ou Pensamento Enxuto.

"Desde seu surgimento, *Lean* não só desafiou as práticas de produção em massa, mas também levou a um repensar de uma vasta gama de operações de manufatura e de operações além da manufatura" (DANTAS, 2016).

Segundo Azevedo (2014) essa Filosofia tem diversos nomes, e neste trabalho serão utilizados, com o mesmo significado, os seguintes nomes:

- Sistema Toyota de Produção (STP);
- Produção Enxuta, ou Manufatura Enxuta;
- *Lean Production,* ou *Lean Manufacturing.*
- *Lean Thinking,* ou Pensamento Enxuto.

De acordo com Dantas (2016), para analisar a construção do *Lean* é indispensável referir ao STP.

Há uma série de ferramentas do Sistema Toyota de Produção em que se baseia o *Lean Manufacturing*. Para construir a cultura de melhoria contínua é necessário organizar estas práticas e ferramentas de modo, que venham a criar um sistema. A partir da interação entre as ferramentas de um dado sistema é que se pode promover uma mudança de cultura (JUSTA e BARREIROS, 2009).

O Kaizen é uma dessas ferramentas foi desenvolvido por Masaaki Imai, no Japão, na segunda metade do século XX. Atualmente é conhecido e praticado em todo o mundo como um método de melhoria contínua. O conceito foi introduzido na América em 1986, a partir do livro escrito por Masaaki Imai, "Kaizen – *The Kay to Japan's Competitive Sucess*". Masaaki Imai estudou na Universidade de Tokyo Relações Internacionais e trabalhou durante vários anos na Toyota (SINGH e SINGH, 2009).

Nesta metodologia os pontos chave para os processos produtivos são: qualidade (como melhorá-la), os custos (como reduzi-los e controlá-los) e a entrega

pontual (como garanti-la) O fracasso de um destes três pontos significa perda de competividade e sustentabilidade nos atuais mercados globais (GUERREIRO e SOUTES, 2013).

De acordo com Dimario (2020), com a aplicação de ferramentas de manufatura enxuta em processo de montagem de motocicletas pode obter como resultado a eliminação do processo gargalo da linha; melhor equalização das atividades entre o total de colaboradores observados, mesmo com quantidade superior de mão de obra; padronização e oficialização dos novos balanceamentos, todos eles sendo alocados nas estações de trabalho através de formulários padrões; aumento de capacidade produtiva.

2.3 Métodos e ferramentas de melhoria na gestão dos processos

Segue a seguir alguns métodos e ferramentas para Gestão dos Processos:

- Método de Análise e Solução de Problema – MASP: conforme Zschornack *et al.* (2010), a ferramenta MASP é uma das técnicas essenciais para a melhoria da qualidade que agrupa diversas ferramentas da qualidade, propiciando a sistematização da solução do problema. É simples, prática e de grande amplitude proporcionando utilização das ferramentas de solução de problemas de forma ordenada e lógica, facilitando a análise de problemas, determinação de suas causas e elaboração de planos de ação para eliminação dessas causas nas mais diversas situações organizacionais. O MASP utiliza as diversas ferramentas e métodos da qualidade. De forma geral, as ferramentas da qualidade que são instrumentos de aplicação dos conceitos da qualidade de modo simples e prático, dentre os inúmeros métodos, a seguir ser abordado alguns (MOTTA e MARINS, 2012).
- Método de Melhoria – PDCA: É um método que gerencia as tomadas de decisões de forma a melhorar atividades de uma organização sendo, também muito explorado na busca da melhoria da performance. Isso faz com que o PDCA seja muito importante e contribua significativamente para obtenção de melhores resultados (VIEIRA FILHO, 2019). É aplicado principalmente no departamento de manufatura e menos aplicado no desenvolvimento de produtos. Na fabricação de um produto físico, é mais fácil implementar o método. Além disso, a equipe de manufatura é mais facilmente gerenciável do que no ambiente inovador e criativo de desenvolvimento de produtos. No desenvolvimento de produtos, é

necessário encontrar um equilíbrio entre os processos formais e a liberdade criativa para ter sucesso com a melhoria contínua (LODGAARD *et al*., 2013).

- Análise de SWOT: O nome é um acrónumo que tem origem em quatro palavras do idioma inglês: *Strenghts*, *Weaknesses, Opportunities* e *Threats.* Segundo Polat *et al.* (2017), a categoria de pontos fortes na análise SWOT representa as áreas em que as organizações são mais efetivas e eficientes que os concorrentes. Os pontos fracos são situações em que a organização é menos eficiente e eficaz que seus concorrentes. Descobrir o lado mais fraco será um passo em direção à resolução de problemas que levarão a sérias dificuldades e limitações em relação às estratégias e planos de longo prazo da organização. A sua função primordial é sistematizar a análise e, assim, possibilitar a escolha de uma estratégia adequada – face aos condicionalismos impostos pelo ambiente (interno e externo), mas também pelas oportunidades emergentes e forças da empresa – para que consiga atingir os objetivos a que se propõe.
- Diagrama de Ishikawa: A essência desta ferramenta é apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que possam afetar o resultado considerado (MOTTA e MARINS, 2012).
- Método dos 5 Porquês: De acordo com Weiss (2011), para análise dos 5 porquês, embora seja denominada assim, pode-se utilizar menos porquês (3 por exemplo), ou mais porquês, de acordo com a necessidade para que se encontre a causa raiz. Usa um conjunto específico de etapas, com instrumentos associados, para encontrar a causa primária do problema, de modo que possa determinar o que aconteceu; determinar por que isso aconteceu; e descobrir o que fazer para reduzir a probabilidade de que isso vai acontecer novamente.
- 5W2H: Segundo Silva, *et al.* (2013), a ferramenta foi criada por profissionais da indústria automobilística do Japão como uma ferramenta auxiliar na utilização do PDCA, principalmente na fase de planejamento. As respostas destas questões estão interligadas e, ao final do preenchimento desta planilha, observa-se um plano de ação detalhado e com fácil compreensão e visualização, em que são definidas as ações tomadas, de que maneira e quais os responsáveis pela execução destas.

2.4 *Layouts* industrial

O *layout* ou arranjo físico do setor de produção de uma organização pode ser definido como a localização e a distribuição espacial dos recursos produtivos, como máquinas, equipamentos, pessoas, instalações, no chão de fábrica (SILVA *et al*., 2013).

De acordo com Rosa (2014), a definição do *layout* ideal depende de um planejamento que contemple a avaliação do modelo que apresente a maior afinidade com o produto ou serviço que será desenvolvido. A seguir (Figura 1) permite a comparação entre os quatro modelos básicos de arranjo físico, citando suas principais vantagens e desvantagens.

Figura 1 – Vantagens e Desvantagens dos Modelos de *Layout*

Modelo	Vantagens	Desvantagens
Linear	- baixos custos unitários para altos volumes de produção; - baixa quantidade de estoques de produtos em processamento; - movimentação adequada de materiais.	- baixa flexibilidade de mix; - trabalho repetitivo, prejudicando a moral e motivação dos colaboradores; - alta dependência entre as atividades, sendo que a falha em uma etapa pode afetar todo o processo.
Funcional	- alta flexibilidade de mix e produto; - fácil supervisão de equipamentos e instalações; - facilidade no treinamento, visto que há menor quantidade de funções.	- baixa utilização de recuros, maior osciosidade; - maior estoque em processo; - menor velocidade de movimentação; - maior número de setup.
Celular	- trabalho em grupo incentva motivação; - equilíbrio entre custo e flexibilidade para operações com alta variedade; - maior facilidade no planejamento e controle da produção.	- possível dificuldade de adaptação dos operadores pela alta variedade de atividades; - alto custo para reconfigurar o arranjo; - reduz níveis de utilização de recursos.
Fixo	- flexibilidade muito alta de mix e produto; - alta variedade de tarefas para a mão de obra; - produto ou cliente não movido.	- custos unitários muito altos; - programação de atividade ou espaço pode ser complexa; - pode exigir muita movimentação de máquinas e mão de obra.

Fonte: Rosa *et at.* (2014)

2.5 Procedimentos metodológicos

A pesquisa foi realizada em uma indústria localizada no Polo Industrial de Manaus, no Estado do Amazonas, que possui processo de montagem de motocicletas de alta cilindrada onde são utilizados recursos como: máquinas, equipamentos, dispositivos e operadores. Divididas em sub processos como pré-montagem e montagem principal.

A metodologia empregada foi a de melhoria na gestão dos processos através do método de análise e solução de problemas (MASP). O fluxo apresentado abaixo

(Figura 2) tem por finalidade auxiliar na elucidação.

Figura 2 – Método de Análise e Solução de Problemas - MASP.

Ciclo	Fluxograma	Fases	Objetivo	Ferramentas
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância	Análise de SWOT
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema através de observação no chão de fábrica e revisão documental	Gemba
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais	Diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês
	4	Plano de Ação	Conceber um plano para implementação das ações	5W2H
D	5	Execução	Executar as ações, treinar os envolvidos e coletar dados para posterior análise	Cronograma de atividades
C	6	Verificação	Comparar o antes e o depois para verificação dos resultados	Kaizen Sheet
	Não ? Sim	Foi efetivo?	Decisão	
A	7	Padronização	Revisar os mapas de processos homologados no sistema da qualidade (ISO 9001) para prevenção contra o reaparecimento do problema	Formulário de mapeamento dos Processos
	8	Conclusão	Recaptular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro	Reunião de Fechamento

A primeira etapa realizada foi uma reunião com a alta direção da empresa em estudo, para revisão do planejamento estratégico utilizando a ferramenta administrativa chamada de Matriz SWOT no auxílio para mensurar influências internas e externas, sejam elas favoráveis ou desfavoráveis ao negócio.

Em seguida, com base no conceito do Gemba foram realizadas observações no chão de fábrica para coletar dados e compreender como poderiam influenciar a melhoria no processo com o problema externo identificado na verificação documental da empresa, conforme registrado na ABRACICLO, além da revisão de literatura onde foi possível contextualizar o cenário político e econômico onde a fábrica estava

inserida. Tendo as informações após a coleta, houve a necessidade da compilação dos dados, sendo agrupadas dentro de categorias, utilizando ferramentas computacionais.

Para as análises foram aplicadas as ferramentas Diagrama de Ishikawa e os "5 Porquês" para estudar os aspectos considerados como causa do efeito indesejado. Na qual o efeito foi identificado previamente e a análise do facilitou a percepção de suas causas por meio de uma visão sistêmica e que integrou diversos pontos de vista.

Levando-se em consideração o exposto, foi realizado o plano de ação com o auxílio da ferramenta 5W2H para visualização das atividades principais. Com isso, foi concluído o ciclo de planejamento do PDCA Da metodologia MASP.

Para o ciclo de execução foi realizado o cronograma das atividades onde foi realizado o acompanhamento da implementação de cada etapa até a sua conclusão.

No ciclo de verificação aplicou-se a folha de Kaizen para comparar os dados de antes e depois da implementação, consolidado em uma tabela geral comparativa. Com isso, foi possível verificar a efetividade do projeto através dos ganhos apresentados.

Para a conclusão da ferramenta PDCA, no ciclo de ação foram atualizados os formulários mapas de processo homologados dentro do sistema da qualidade incluindo a avaliação preliminar de riscos conforme solicitado na ISO 9001 como ação na fase de padronização. Por fim, ocorreu uma reunião com todos envolvidos e a alta direção da empresa para fechamento e entrega do projeto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de SWOT possibilitou uma reflexão crítica para base do planejamento estratégico da empresa. A Figura 3 a seguir, apresenta os fatores internos e externos pontuados.

Figura 3 – Análise SWOT.

ANÁLISE SWOT

	FORÇAS	FRAQUEZAS
FATORES INTERNOS	Produto Premium	Desenvolvimento na qualificação dos colaboradores
	Alto nível de conhecimento no segmento	Preços elevados de venda
	Tecnologia agregada no produto	Burocracia nos processos
	Particularidades no design do produto	Alto investimento para lançamento de novos modelos
	Centro próprio de desenvolvimento de produto	Layout semelhante da matriz com produção 10x maior
		Linhas de montagem dedicadas por família de produto

	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
FATORES EXTERNOS	Expansão no território brasileiro	Oscilação significativa na demanda do mercado consumidor
	Marca consolidada mundialmente	Instabilidade política e econômica
	Consumidor fiel a marca	Inflação elevada

Dentro dos fatores internos, focado no quadrante de "fraqueza" foi contextualizado as condições do *layout* fabril da fábrica em estudo quando foi instalada. Na qual, teve como referências os conceitos produtivos da matriz, não levando em consideração as particularidades, tais como o volume de produção de aproximadamente dez vezes menor que sua matriz e produção em grandes lotes com linha de montagem dedicadas por família de modelos de produto.

Logo, o *layout* apresentava três linhas de montagem para produção de dez modelos de motocicletas divididos em três famílias, cada família com seu tipo e cilindrada de motor.

Na Figura 4 apresenta o fluxo completo dentro da empresa, desde o recebimento da matéria prima até a expedição da motocicleta acabada, com a subdivisão dos principais processos de montagem. Na qual, o processo de recebimento e estocagem era comum para todos os modelos de motocicletas, tendo a alimentação das peças em três linhas que funcionavam simultaneamente, iniciando o processo de montagem pelo motor, seguido por alguns processos de pré-montagem de subconjuntos, devido a necessidade de utilização de dispositivos para auxilio de montagem e de máquinas, tais como prensagem de rolamentos, gravação do número de chassi, montagem de pneu e balanceamento de rodas. Após alguns conjuntos pré-montados, iniciavam a montagem da motocicleta, onde unia o motor montado ao chassi principal e as demais peças de composição da motocicleta. Ao término da montagem, a mesma, passava pelo posto de inspeção para garantir a qualidade do

produto. Finalizando o processo na embalagem do produto acabado e disponibilizando para expedição.

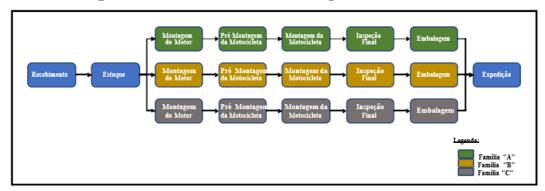



Figura 4 – Fluxo do Processo de Montagem das Motocicletas

Dentro dos fatores externo no quadrante "ameaças", foi definido como o principal problema a oscilação significativa na demanda do mercado consumidor havendo a necessidade de atuação na otimização do processo produtivo como ação de mitigação e manter competitivo com o portifólio mais variado dos produtos.

Na fase 2 do fluxograma do MASP, foram observados nas revisões documental, levantado no referencial teórico, fatores político e econômico da última década que influenciaram diretamente comportamento do consumidor brasileiro no ramo de motocicleta de alta cilindra.

Os dados coletados no Gemba foram a capacidade produtiva diária total que era de 200 (duzentas) motocicletas considerando o tempo disponível de 498 (quatrocentos e noventa e oito) minutos, sendo o *takt time* diferente entre as 3 (três) linhas de montagem que demandavam uma área física de 500 (quinhentos) metros quadrados, incluindo os corredores necessário entre as linhas de montagem para transporte de peças e fluxo de pessoas. As mesmas, possuíam comprimentos diferentes entre elas para comportar a capacidade produtiva de cada família de motocicleta, tendo com isso, áreas subutilizadas. No caso, a linha de montagem 1 (um) tinha a capacidade de 100 (cem) motocicletas por dia e o *takt time* de 4,98 minutos, a linha de montagem 2 (dois) produzia 75 (setenta e cinco) motocicletas por dia com *takt* time de 6,64 minutos e a linha de montagem 3 (três) com 25 (vinte e cinco) motocicletas diariamente com *takt* time de 19,92 minutos (Figura 5).

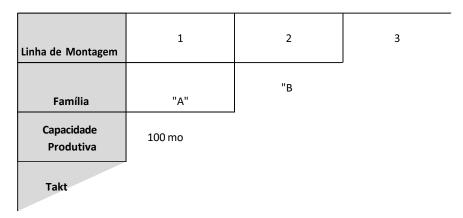
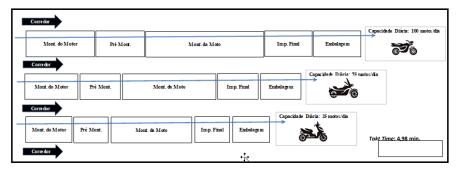
Figura 5 – Dados Produtivos Inicial

Para melhor entendimento do fluxo de montagem nas linhas a Figura 6 representa um croqui em blocos de processo do *layout* instalado anteriormente.

Figura 6 – *Layout* Inicial

Devido essa variação significativa do *takt time* entre as linhas de montagem acabava gerando mão de obra menos versátil para absorver o conhecimento de montagem em mais de uma família dos produtos, dificultando a rotatividades dos operadores entre as linhas de montagem.

As máquinas apresentavam alta ociosidade, pois 80% (oitenta por cento) delas se repetiam em cada linha de montagem por serem processos comum entre as motocicletas, independentemente do tipo de família ou modelo. A máquina com o tempo de processo maior era de 2 minutos, com isso, a linha com maior *takt time* utilizava somente 10% da disponibilidade. Porém, a manutenção preventiva da mesma era realizada conforme cronograma padrão sem considerar horas de uso, necessitando manter peças comuns em estoque para as três máquinas iguais.

Durante os últimos 3 (três) anos tiveram aproximadamente 20% das paradas de produções devido à falta de matéria prima em alguma das linhas de montagem, por diversas razões, dentre elas as principais foram greve da Receita Federal, greve dos caminheiros e erro de planejamento de estoque. Como havia em média de 3

modelos de motocicletas por linha de montagem, não facilitava a flexibilização da alteração do plano de produção para evitar a parada da linha.

Com o princípio de linha dedicada por família de motocicletas sempre havia um investimento mínimo necessário para implementação de novos produtos, que era o valor gasto com instalação de infraestrutura para uma nova linha de montagem, em torno de 25% do investimento total necessário pela empresa, aumentando ainda o valor do montante do custo de depreciação dos ativos fixos.

Na fase de análise foi obtido o Diagrama de Ishikawa (Figura 7) tendo como o problema a vulnerabilidade para atendimento de oscilações na demanda do mercado consumidor.

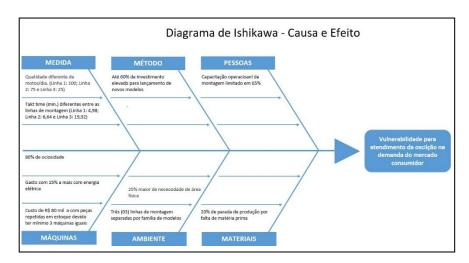



Figura 7 – Análise de Cause e Efeito

Tendo o problema definido obteve através da técnica dos “5 Porquês” (Figura 8) a ação de unificação das linhas produtivas para montagem de todos os modelos de motocicletas.

Figura 8 –Técnica dos 5 Porquês

5 PORQUÊS	
Problema:	Vulnerabilidade para atendimento da oscilação na demanda do mercado consumidor.
1° Porquê	Vulnerabilidade para atendimento da oscilação na demanda do mercado consumidor?
2° Porquê	Produto acabado não disponível conforme demanda?
3° Porquê	Pouca flexibilidade de reação na mudança do plano de produção?
4° Porquê	Gerenciamento de montagem de modelos em paralelo?
5° Porquê	Disposição das linhas de montagem separadas por familia de modelos.
Ação:	Unificação das linhas produtivas para montagem de todos os modelos de motocicletas.

O plano de ação foi realizado conforme apresentado na Figura 9 através da ferramenta de 5W2H para atingir o objetivo de mitigar a vulnerabilidade para atendimento da oscilação da demanda do mercado através da estratégia principal de melhoria de processo com a unificação das linhas de montagem, com base no princípio da filosofia *Lean Thinking* que tem como um dos conceitos a produção mista e em célula, desafiando os conceitos conservadores de produção em lotes grandes e em linha dedicadas por modelo do produto.

Figura 9 – Plano de Ação com 5W2H

Plano de Ação - 5W2H

PLANO DE AÇÃO: Unificação das linhas produtivas para montagem de todos os modelos de motocicletas
DATA PREVISÃO: de 03/jan à 06/set de 2019
RESPONSÁVEL: Pesquisador
OBJETIVO: Mitigar a vulnerabilidade para atendimento da oscilação da demanada do mercado.

5W					2H		Status
O quê? (What?)	Porque? (Why?)	Onde? (Where?)	Quem (Who?)	Quando (When?)	Como? (How?)	Quanto custa? (How much?)	
Instalar fisicamente a linha unificada	Otimizar produtividae aumentando a flexibilidade do plano de produção.	Área Produtiva	Analista de Processo	até 01/mar	Tercerização do serviço com empresas especializadas.	R$ 90.000,00	A fazer
Mapeamento do novo processo	Unificar os processos no novo layout	Área Produtiva	Analista de Processo	04/mar até 22/mar	Mapeamento de responsabilidades por modelos de motocicletas, posto de trabalho.	R$ 0,00	A fazer
Treinamento operacional	Capacitar os operadores para montagem de todos modelos de motocicletas	Sala de Treinamento	Líder de Montagem	25/mar até 05/jul	Utilizando motocicletas de treinamento.	R$ 0,00	A fazer
Montagem das primeira motos na nova linha (SOP)	Validação do layout e do processo.	Área Produtiva	Operadores	08/jul até 09/ago	Montando todos modelos disponíveis no portifólio de produto.	R$ 0,00	A fazer
Validação de Qualidade	Garantir que não houve falha de processo.	Sala de Auditoria	Analista de Qualidade	12/ago té 06/set	Auditoria do produto acabado e rodagem no banco de teste.	R$ 0,00	A fazer

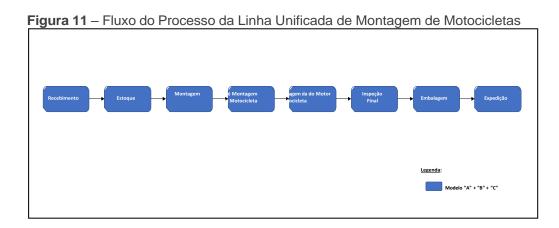
Para garantir os prazos mencionados no 5W2H foi realizado o cronograma com as atividades necessárias para implementação (Figura 10).

Figura 10 – Cronograma de Implementação dos Planos de Ações.

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO

Atividades	PLANO DE INÍCIO	PLANO DE DURAÇÃO	INÍCIO REAL	DURAÇÃO REAL	% COMPLETA
Instalação física da linha unificada	1	10	1	9	100%
Mapeamento de responsabilidade por modelos de motocicletas	10	1	10	2	100%
Mapeamento de responsabilidade por posto de trabalho	11	1	11	1	100%
Mapeamento dos ponto de verificação de qualidade	12	1	12	1	100%
Treinamento dos operadores	13	12	13	12	100%
Avaliação final do treinamento	25	3	25	2	100%
Início da montagem na nova linha	28	1	28	1	100%
Acompanhamento de posto a posto com lista de checagem de processo	28	5	28	5	100%
Auditoria do produto acabado	33	2	33	3	100%
Validação das motocicletas no banco de teste	35	2	35	2	100%

Para poder viabilizar a estratégia foi realizado o projeto do novo *layout* com apenas uma linha de montagem (Figura 11), tendo as definições de quantidades de postos de trabalho para atender a capacidade diária de 200 (duzentas) motocicletas e também planejado o tópico de treinamento dos operadores, que era o maior risco considerado do projeto, para que pudessem aprender a montagem de parte específica de todos os modelos de motocicletas, mantendo a qualidade do produto. Logo, foram planificadas as avaliações para mensurar o aprendizado, gerando assim uma visão da evolução do treinamento.

Figura 11 – Fluxo do Processo da Linha Unificada de Montagem de Motocicletas

Com isso, foi realizada a instalação do *layout* planejado e definido colaboradores responsáveis como multiplicadores de conhecimento de montagem para determinado postos de trabalho e modelos de motocicletas e para garantir a qualidade de montagem foi mapeado no *layout* os pontos de verificação e inspeção.

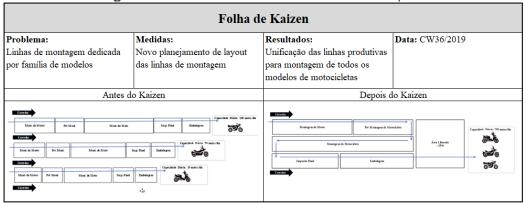
Após a instalação do novo *layout*, com a finalidade de verificação do treinamento dos operadores, foi realizado uma avaliação final para poder iniciar a montagem dos primeiros lotes. Na qual cada motocicleta dos 5 (cinco) primeiros lotes de cada modelo, foram acompanhadas durante todo o processo de montagem com uma lista de checagem de posto a posto, definida pelo departamento de Qualidade.

Para validação do novo processo foram revisados os documentos de pontos de atenção de montagem nos postos de trabalho, auditoria visual e funcional por

amostragem das motocicletas montadas e, por fim, rodagem das motocicletas no banco de teste chamado de dinamômetro.

Após a ação implementada (Figura 12), foram mensurados os benefícios gerados no decorrer dos seis meses seguintes, comparando os dados anteriores com o atual.

Figura 12 – Formulário de Kaizen do Antes e Depois.

Folha de Kaizen			
Problema: Linhas de montagem dedicada por família de modelos	**Medidas:** Novo planejamento de layout das linhas de montagem	**Resultados:** Unificação das linhas produtivas para montagem de todos os modelos de motocicletas	**Data:** CW36/2019
Antes do Kaizen		Depois do Kaizen	

– Área útil: manteve a capacidade produtiva com menor área física usada, devido a unificações de processos semelhantes. Também houve o ganho de áreas que anteriormente eram usadas como corredores com a finalidade de alimentação de peças. Com isso, o novo *layout* utilizou 375 (trezentos e setenta e cinco) metros quadrados, em média de 25% de redução de área física.

– *Work In Progress* (WIP): Cada linha de montagem havia a necessidade de 8 kits de buffer no processo, totalizando 24 kits, logo tenho uma única linha demanda somente 8 kits.

– Produtividade: Aumento de 6,4% de motocicletas montadas por operadores, sendo o valor atingido de 0,47 por dia.

– Capacidade Produtiva: devido a nova disposição do *layout* e a área liberada tornou-se possível realizar o crescimento ou redução da capacidade física de forma mais fácil e com menor investimento.

– Operador versátil: com do *takt time* em média de 8 (oito) à 2 (duas) vezes menor do que no *layout* antigo e a necessidade de montagem dos 8 (oito) modelos de motocicletas na mesma linha o operador desenvolveu a habilidade de versatilidade no processo.

– Viabilidade econômica para novos modelos: redução entre 25% (vinte e cinco porcento) a 60% (sessenta porcento) do valor total do investimento para

um novo modelo devido a sinergia de infraestrutura da linha unificada apresentada anteriormente. Logo, aumentou aproximadamente 35% o portfólio de produtos da empresa com a aprovação de 4 modelos que havia sido reprovado antes da mudança do *layout*.

- Custo depreciação: com menor investimento nos lançamentos de novos modelos, gera um quadro de ativos fixos menor, por consequência evitou o aumento de R$ 6.560,00 que é depreciado mensalmente no preço de venda do produto.
- Custo de manutenção: com menos máquinas devido a sinergia nos processos comuns entre as motocicletas, diminui a necessidade de peças repetidas em estoque e mão de obra para realização de manutenção preventiva com ganho anual de R$ 80.000,00.
- Gasto com energia elétrica: redução de aproximadamente 15% (quinze porcento) devido ao uso de menos lâmpadas no processo fabril (25% da área liberada) e as máquinas comuns desabilitadas, sendo o valor final médio de consumo mensal de 0,08 MWh.
- Eficiência Global dos Equipamentos: a desabilitação das máquinas comuns proporcionou um ganho de 66% de eficiência devido aumento do uso da máquina de 25% para 80% do tempo disponível.
- Parada de produção por falta de matéria prima: com a flexibilidade de montagem de todos os modelos na mesma linha, obteve maior opção para alteração do plano de produção, proporcionou a redução para 5% de parada de produção por causa como falta de matéria prima de algum modelo específico.

A Tabela 1 apresenta os resultados compilados, evidenciando a efetividade do projeto através dos benefícios verificado após a implementação do projeto.

Tabela 1 – Comparativo dos Resultados Alcançados

Itens	Antes	Depois	Benefícios
Capacitação dos Operadores	Limitada	Versátil	Flexibilidade no processo
Takt Time	Variavel	Fixo	Menos perda de processo
Quantidade de Linhas de Montagem	3	1	Flexibilidade de montagem de todos modelos em uma linha
Area Utilizada	500 m²	375 m²	Disponibilidade de 25% de área
Capacidade/Dia	200	200	Flexível para aumento devido disposição do layout
Nº Operadores	450	425	Redução 5,5%
Produtividade (Prod./Oper./Dia)	0,44	0,47	Aumento 6,4%
Parada de Linha (min./mês)	172	163,4	Redução 5%
Estoque em Processo (*WIP*)	24	8	Redução 67%
Eficiência Global dos Equipamentos (OEE)	27%	80%	Ganho 66% de eficiência
Manutenção Preventiva	R$ 320.000,00	R$ 240.000,00	Redução no custo anual em 25%
Consumo Energia Elétrica (MWh)	0,092	0,08	Redução 15%
Investimento de Lançamento/Modelo	R$ 3.200,00	R$ 2.400,00 ~ R$ 1.280,00	Redução de investimento de 25% ~ 60%
Quadro de Ativos	R$ 12.800,00	R$ 6.240,00	Redução de 51,25% do valor de depreciação no custo da moto
Portifólio de Produtos	8	12	Aumento 33% do modelos produzidos

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O comportamento do mercado consumidor brasileiro de motocicletas de alta cilindra da última década pode ser definido como instável por não apresentar uma tendência constante, conforme os dados apresentados pela ABRACICLO, por isso a essência da pesquisa foi na estratégica mercadológica aplicada dentro da fábrica com a otimização do processo de montagem.

Conforme demonstrado no levantamento de dados foram evidenciadas as exigências e oscilações da demanda do mercado atual com foco em variedade de produtos com qualidade e preço acessível. Verificando assim, potencial de otimização no processo produtivo para tornar o produto mais atrativo e a empresa mais competitiva.

Assim sendo, determinou-se a utilização da estratégia de unificação das linhas de montagem de todos os modelos de motocicletas como uma prática de manufatura enxuta viável para responder de forma mais rápida a oscilação do mercado, consequentemente foi definido como a ação corretiva relevante com o auxílio de ferramentas de melhorias na gestão de processos, tais como: Diagrama de Ishikawa e 5 Porquês para avaliação de causa e efeito e 5W2H para definição do plano de

ação.

Com esse, realizou-se o cronograma detalhado onde foi possível acompanhar e garantir a execução de cada atividade durante a fase de implementação da ação definida através da instalação do novo *layout*, do treinamento operacional de montagem e da validação do processo.

Através do comparativo entre os dados coletados antes da implementação do projeto e posteriormente foi evidenciando a efetividade do projeto através dos benefícios encontrados como resultado.

No presente estudo foram encontradas restrições para quebra de paradigma de conceito de produção junto a matriz para que pudessem visualizar e absorver as vantagens junto ao mercado consumidor brasileiro que possui suas particularidades.

Apesar dessas restrições, deve se destacar que as propostas para aplicação de um conceito oriundo da filosofia *Lean Thinking* foram aceitas e implementadas pela empresa, na qual os resultados iniciais evidenciaram ganhos na flexibilidade produtiva e na competitividade dos produtos, podendo ser utilizado por outras empresas que tenham o mesmo perfil de acordo com suas demandas.

Devido à grande abrangência do assunto abordado neste estudo são apresentadas a seguir algumas sugestões para realização de novas pesquisas nesse contexto, como realizar:

– Estudo com abordagem em volumes maiores de produção de motocicletas, para poder obter definição do limite da aplicação do *layout* de linha de montagem unificada;

– Análises com as mesmas perspectivas em outros tipos de produtos para verificar a viabilidade de aplicação do conceito.

REFERÊNCIAS

- ABRACICLO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MOTOCICLETAS, CICLOMOTORES, MOTONETAS, BICICLETAS E SIMILARES. **Dados do setor duas rodas 2020**. Manaus: ABRACICLO, 2020. Disponível em www.abraciclo.com.br. Acesso em 15 de dezembro de 2020.

- AZEVEDO, R. G. **Aplicação de princípios do pensamento enxuto no processo de envio e devolução de correspondências em um banco privado.** 2014. 52 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle. Acesso em: 22 de julho de 2019.

- BARBOSA, E. B. Zona Franca de Manaus: política brasileira de desenvolvimento socioeconômico regional. **Economia Latino Americana**, Manaus, n. 184. p. 57-59, maio 2013. Disponível em: https://Artigo_publicado_na_revista_Economia_Latino_Americana.pdf. Acesso em: 03 junho de 2020.

- BARROS, R. P. *et al*. **A queda recente da desigualdade de renda no Brasil**. 2v. Brasília: Ipea, 2006. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/. Acesso em: 17 novembro de 2019.

- CAMARGO, G. Comportamento do consumidor e a evolução tecnológica das empresas. **E-commercebrasil.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.ecommercebrasil.com.br/artigos/comportamento-do-consumidor/. Acesso em: 10 junho de 2019.

- DANTAS, C. L. **Lean IT: Estudo de Lean Thinking na área de Tecnologia da Informação.** 2016. 55f. Trabalho de Graduação (Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, 2016. Disponível em: https://liag.ft.unicamp.br/leanit/wp-content/uploads/sites/8/2017/05/5414VfinalTCCCibele.pdf. Acesso em: 27 de outubro de 2020.

- DIMARIO, R. K. Aplicação de ferramentas de manufatura enxuta em processo de montagem de motocicletas no Polo Industrial de Manaus. **Revista Brazilian Journal of Development,** Curitiba, v. 6, n. 5, p. 26839-26861, 2020.

- GUERREIRO, R.; SOUTES, D. O. Práticas de gestão baseada no tempo: um estudo em empresas no Brasil. **Revista Contabilidade & Finanças,** [S. l.], v. 24, n. 63, p. 181-194, 2013. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/rcf/article/view/78830. Acesso em: 16 março 2020.

- JUSTA, M. A. O. da; BARREIROS, N. R. Técnicas de Gestão do Sistema Toyota de Produção. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 05, n. 01, pp. 01 – 17, 2009.

- LODGAARD, E.; GAMME, I.; AASLAND, K. E. Success Factors for PDCA as Continuous Improvement Method in Product Development. In: **IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 645-652.

- MORAES, R. F. *et al.* Filosofia Kaizen aplicada em uma indústria automobilística. *In:* X SIMPEP-Simpósio de Engenharia de Produção, 2003, Bauru. **Anais eletrônicos**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile. Acesso em: 21 de fevereiro de 2020.

- MOTTA, S. C. S.; MARINS, C. S. Análise da aplicação da ferramenta MASP no controle de estoque de uma usina siderúrgica. *In:* IX SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2012, S.l., **Proceedings.** Resende. 2012. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/22416833.pdf. Acesso em: 27 de outubro de 2020.

- POLAT, Z. A. *et al*. Determining strategies for the cadaster 2034 vision using an AHP- Based SWOT analysis: A case study for the Turkish cadastral and land administration system. [S.l]: **Land Use Policy**, v 67, 151-166., 2017.

- ROSA, G. P. *et al*. A reorganização do layout como estratégia de otimização da produção. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 9, n. 2, p. 139, 2014. Acesso em: 10 de fevereiro de 2021.

- SIGNOR, Diogo *et al*. **O efeito da inovação tecnológica sobre as vendas na indústria brasileira de duas rodas: uma análise da introdução dos motores bicombustível usando controles sintéticos**. Trabalho de Pós-Graduação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/132755. Acesso em 18 de setembro de 2020.

- SILVA, A. O., *et al.* Gestão da qualidade: Aplicação da ferramenta 5W2H como plano de ação para projeto de abertura de uma empresa. *In:* 3ª Semana Internacional das Engenharias da FAHOR., 2013. **Anais do evento,** Horizontina. Disponível em: https://www.fahor.com.br/publicacoes/sief/2013/gestao_de_qualidade.pdf. Acesso em: 17 de outubro de 2020.

- SOUZA, S. R. O.; DA LUZ, I. B. Proposta de redução de custo com avarias no tanque de combustível da motocicleta: um estudo de caso em uma empresa do Polo de Duas Rodas de Manaus. *In* 1 Encontro de trabalhos científicos das Engenharias Mecânica e Produção UNINORTE, 2018, Manaus. **Anais eletrônicos**, Manaus: UNINORTE/ LAUREATE. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos. Acesso em 18 de setembro de 2020.

- SUFRAMA - SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS. **Indicadores industriais**. Manaus: Suframa, 2019. Disponível em

www.suframa.gov.br. Acesso em 28 de agosto de 2019.

- VIEIRA FILHO, G. **Gestão da qualidade total: uma abordagem prática**. 6. ed. Campinas: Alínea, 2019. Disponível em: http://www.grupoatomoealinea.com.br/gestao- da-qualidade-total-uma-abordagem-pratica.html. Acesso em: 19 de março de 2021.

- WEISS, A. E. **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know.** Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

- WOMACK, J.P., JONES, D.T. D. **The Machine that Changed the World**. New York: Macmillan, 1990.

- **_______Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**, 2nd ed., London: Simon & Schuster, 2003.

- ZSCHORNACK, T. *et al.* Aplicação da ferramenta MASP para direcionamento de ações de combate a inadimplência na companhia águas de Joinville. *In:* XVII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO–SIMPEP., 2010, Bauru. **Anais do evento,** Bauru-SP. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile. Acesso em: 27 de outubro de 2020.

CAPÍTULO 11

MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO ENXUTA COMINTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Fábio Muniz Mazzoni
Mestrando em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais pela UniversidadeFederal Fluminense
Instituição: Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Fluminense (UFF)
Endereço: Rua Recife, s/n, Jardim Bela Vista, Rio das Ostras – RJ, Brasil
E-mail: fabiomazzoni@id.uff.br

Andr´e da Silva Barcelos
Doutorando em Engenharia Eletrotécnica de Computadores pela Universidade de BeiraInterior
Instituição: CISE-Electromechatronic Systems Research Centre – University of BeiraInterior / Covilhã – Portugal
Endereço: Convento de Sto. António. 6201-001 Covilhã. Portugal
E-mail: andre.s.barcelos@ubi.pt

ABSTRACT: The liquefied petroleum gas (LPG) production industry, commercially known as residential gas, presents challenges such as continuous production, the need to control the production process in real time and the variability of product quality due to the behavior ofparameters thermodynamics of production. In this scenario, this work presents two distinctalgorithms and proposes methods to monitor the quality of LPG in real time. At the end, an analysis tool and the control measures that must be implemented will be presented to guarantee the reduction of variability according to the principles of lean production.

KEYWORDS: Artificial Intelligence; Lean Manufacturing Indexation; Variability Analysis; Optimization; Liquefied Petroleum Gas.

RESUMO: A indústria de produção de gás liquefeito de petróleo (GLP), comercialmente denominado como gás de cozinha, apresenta desafios como a producção contínua, a necessidade do controle de processo de produção em tempo real e a variabilidade da qualidade do produto devido ao comportamento dos parâmetros termodinâmicos da produção. Neste cenário, estetrabalho apresenta dois algoritmos distintos e propõe métodos para monitorar a qualidade do GLP em tempo real. Ao final será apresentado uma ferramenta de análise e as medidasde controle que devem ser implementadas para garantir a redução da variabilidade de acordo com os princípios de produção enxuta.

PALAVRAS-CHAVES*:* Inteligência Artificial; Análise de Variabilidade; Indexação da Produção Enxuta; Otimização; Gás Liquefeito de Petróleo.

1. INTRODUÇÃO

A produção enxuta tem por objetivo atender a demanda dos consumidores com qualidade e menor desperdício possível de insumos e recursos. Para isto, faz-se necessárioque o suprimento de insumos e serviços encontrem-se em sincronia com a demanda. Os princípios *lean* e *justin-time* representam uma ruptura da prática tradicional das operações e tornaram-se amplamente aceitas para promover a sincronização dos processos (Slack et al., 2013). Uma das causas da interrupção do processo da produção enxuta é o aumento da variabilidade dos parâmetros do processo que devem ser monitorados e controlados(Sanders et al., 2016).

Outra forma de considerar a produção enxuta é propor a redução da variabilidade, trabalhar em fluxo e puxar a produção (Womack and Jones, 2017). A redução da variabilidade tem por objetivo proporcionar o início do processo de produção enxuta, entrea demanda e a produção puxada que deve ser monitorada constantemente a fim de mantero controle e o planejamento com visão de longo prazo (Marodin et al., 2018).

É possível aplicar estes conceitos em unidades de processamento de gás natural (UPGN), que são instalações industriais com a finalidade de produzir derivados do gás natural. Um dos derivados mais conhecidos é o gás liquefeito de petróleo (GLP), comercialmente denominado gás de cozinha, que é formado predominantemente porpropano (C_3H_8) e butano (C_4H_{10}) (Bakosova et al., 2017). Assim, as UPGNs realizam a desidratação do gás natural para um posterior fracionamento em uma torre debutanizadora,com intuito de produzir derivados como o GLP, o gás residual e a gasolina natural (Thomaset al., 2004).

A torre debutanizadora é utilizada para fracionar o insumo (gás natural), por meio docontrole e otimização dos parâmetros termodinâmicos. Por conseguinte, é necessário evitara presença de compostos com peso molecular maiores que o butano, com a finalidade de garantir a especificação do GLP. Com este viés, a Agência Nacional do Petróleo (ANP), especifica ensaios para garantir a qualidade do GLP, onde o mais importante e largamenteutilizado na industria é o que mede o resíduo volátil do ponto de ebulição, que comercialmente é denominado ensaio de intemperismo (Panapakidis and Dagoumas,2017).

O intemperismo é definido nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas(ABNT), como a temperatura resultante da evaporação atmosférica de 95%

do volume deGLP. O ensaio de intemperismo considera que o GLP está enquadrado nas especificações legais, e disponível para a comercialização quando da evaporação do GLP, resultar um resíduo de 5% do volume inicial em uma temperatura de até 2,2ºC (Silva et al., 2017).

A presença de resíduos acima de 5%, é denominado desenquadrado nas especificações legais e por conseguinte, onde a presença de compostos de peso molecularesmaiores que o butano exercem forte influência ao desenquadramento do intemperismo (Diehl et al., 2018). Uma vez que ocorra o desenquadramento do produto, este poderá ser reprocessado ou descartado, o que caracteriza perda de insumo, desperdício e retrabalho (Bahadori, 2014).

2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma ferramenta baseada em inteligência artificial, que identifique e monitore a tendência e a variabilidade do intemperismo do GLP em uma planta industrial, com a finalidade de minimizar o reprocessamento ou desperdíciona produção de GLP desenquadrado de uma UPGN.

3. A PRODUÇÃO DE GLP

3.1 O processo de debutanização

A torre debutanizadora realiza o fracionamento de hidrocarbonetos que constituem o gás natural, onde separa etano ($C2$), propano ($C3$), butano ($C4$) e pentanos ($C5+$), por diferenc¸a de pressão parcial, peso molecular e volatilidade. Uma maneira de realizar o fracionamento é controlar a pressão de topo, a temperatura de fundo e a vazão de refluxo, que alteram diretamente os parâmetros termodinâmicos da torre (Kidnay et al., 2019).

O diagrama da torre debutanizadora está ilustrado na Figura 1, onde observa-se quea entrada de carga da torre debutanizadora consiste de hidrocarbonetos para o fracionamento. A corrente de fundo desta torre, consiste de um subproduto de pentanos $C5$,denominado gasolina natural, que possui baixa concentração de $C4$ e $C3$ (Sayed et al., 2017).Por outro lado, o produto que ascende do interior ao topo da torre

é C_4 e C_3, e uma concentração de C_2 que possibilita o enquadramento do GLP (Kidnay et al., 2019). Este enquadramento deve atender às especificações fisicoquímicas estabelecidas pelos orgãosreguladores, portanto, a ANP é o orgão governamental responsável por determinar asespecificações mínimas necessárias para garantir a qualidade do produto final (de Almeida *et al.* 2016).

Na topo da torre debutanizadora monitora-se a temperatura e a pressão do produto em ascensão. Deste modo, observa-se o vaso de refluxo que possui GLP em duas fases.

Assim, utiliza-se deste vaso para monitorar a qualidade do GLP e verificar a ocorrência de ascensão indevida de C_5

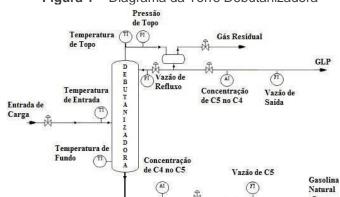



Figura 1 – Diagrama da Torre Debutanizadora

proveniente do interior da torre. Na ocorrência de descontrole operacional e por conseguinte, de ascensão indevida de C_5, é possível recircular este produto para o interiorda torre. Isto se dá por meio de bombas centrífugas, que possuem a finalidade de garantir o intemperismo do GLP, evitando a contaminação por pentanos (Kidnay et al., 2019).

Outrossim, o refluxo possui a função de controlar a pressão interna da torre e a temperatura de topo. Por conseguinte, uma vazão de refluxo mínima é exigida, pois é necessário manter os parâmetros do fracionamento controlados sob o viés termodinâmico.(Sayed et al., 2017).

3.2 Parâmetros do processo

Conforme verificado na Figura 1, são necessários instrumentos e sensores apropriados conforme a Tabela 1. O controle destas variáveis está baseado nas

curvas de equilíbrio de fases líquido-gás dos hidrocarbonetos. Assim, o conhecimento prévio das curvas de equilíbrio e dos parâmetros termodinâmicos da torre, permitem construir um sistema inteligente que monitore a tendência do processo (Diehl et al., 2018).

Tabela 1 – Parâmetros do Processo

Parâmetro	Unidade	Faixa de Medida
Pressão de Topo	kgf/cm^2	11-15
Vazão de Refluxo	m^3/h	120-260
Vazão de Saída	m^3/h	20-50
Temperatura de Topo	ºC	200-280
Temperatura de Entrada	ºC	120-180
Temperatura de Fundo	ºC	220-320
Vazão de $C5$	m^3/h	30-60
Concentração de $C4$ no $C5$	–	0-15
Concentraço de $C5$ no (	–	0-5

Uma abordagem para construir um sistema inteligente de monitoramento, é definir um ponto de comportamento no espaço n-dimensional que representa os parâmetros da torre debutanizadora. Estes parâmetros são controlados para situar-se na região de enquadramento e otimização do intemperismo, possibilitando a produção enxuta (Bakosova et al., 2017). A tendência da variação do comportamento para uma região desenquadrada do GLP, deve ser prevista pelos algoritmos de inteligência artificial, com afinalidade de auxiliar a tomada de decisão. (Panapakidis and Dagoumas, 2017).

Assim, a função de comportamento $f(x)$, é definida como uma sétupla que equacionaa pressão de topo (Pt), vazão de refluxo (Qr), temperatura de topo (Tt), temperatura de entrada (Te), temperatura de fundo (Tf), concentração de C_4 no C_5 (K45) e concentração deC_5 no C_4 (K54) conforme Equação 1.

$$y = f(Pt;Qr;Tt;Te;Tf;QC4;K45;K54) \qquad (1)$$

Ao computar a função de comportamento, obtém-se um ponto em 7 dimensões e assim, ao verificar a variação do comportamento da torre debutanizadora, será obtido duas regiões do espaço que são relativas ao enquadramento do GLP e o

desenquadramento. Vale ressaltar que a região de enquadramento, está necessariamente contida na região dedesenquadramento.

3.4 O controle do processo

Para validar o enquadramento do GLP é realizado um ensaio de intemperismo, que consiste na análise do produto de topo a cada 2 horas, de acordo com as características de cada planta de processamento (de Almeida et al., 2016). A instabilidade do processo alteraa função de comportamento, que tende para regiões que caracterizam o desenquadramentodo GLP. (Jin and Lim, 2019).

Outrossim, o sistema de controle altera a função de comportamento de acordo com ointemperismo, que é realizado por meio de ensaios (Fatima et al., 2019). Isto significa quea tomada de decisão do sistema de controle ocorre em tempo-real, porém é necessário aguardar o ensaio de intemperismo para validação das ações de controle. Portanto, por motivos diretos, esta abordagem inviabiliza a otimização da produção, pois trata-se de um processo dinâmico com validação insuficiente (Bakosova et al., 2017).

4. FERRAMENTAS DE ANÁLISE

Este artigo propõe o desenvolvimento de dois algoritmos, que servem de base para uma ferramenta de monitoração da análise da variabilidade do processo de debutanização,que estão descritas nas subseções seguintes. Para o desenvolvimento desta ferramenta, inicialmente é criada uma base de dados real, composta por 1000 amostras de comportamento sem rótulos de classe.

O simulador de processo CHEMSEP^{TM} é capaz de classificar as amostras de comportamento do processo em enquadrado ou desenquadrado, conforme a variação dos parâmetros da função comportamento (Tgarguifa et al., 2017). Com este viés, a base de dados passa a conter instâncias com duas regiões distintas e corretamente classificadas pormeio dos modelos termodinâmicos do simulador, que serão utilizadas na etapa de treinamento dos algoritmos (Zhou et al., 2019).

Após a etapa de treinamento, os algoritmos devem ser capazes de identificar as entradas e em seguida atualizarem-se. Para esta simulação, foram utilizadas outras 400 instâncias distintas para validação e 400 para teste. A determinação da

quantidade de amostras de comportamento deve-se ao fato de que a aquisição dos dados, a computação eapresentação dos resultados pelo CHEMSEP, com posterior treinamento dos algoritmos, duram aproximadamente 2 horas de computação com validação cruzada.

4.1 Rede bayesiana

A teoria probabilística de Naive Bayes permite desenvolver classificadores Gaussianos à partir da premissa de independência linear entre as variáveis aleatórias. (Martin et al., 2017). Neste caso, o algoritmo calcula a probabilidade condicional das instâncias e realiza estimativa que determina quais os grupos que cada instância deve pertencer (Witten et al., 2017).

A Equação 2 expressa a probabilidade condicional de uma variável aleatória x pertencer a uma classe y, com distribuição de probabilidade P(y). A probabilidade P(x|y) éuma observação condicional da variável aleatória x na classe y, enquanto o denominador é um produto normalizador que realiza um somatório de probabilidades condicionais em todas as classes y' com probabilidade P(y').

$$P(y|x) = \frac{P(x|y)P(y)}{\sum_{y'} P(x|y')P(y')} \tag{2}$$

Por conseguinte, é possível obter a probabilidade que cada variável aleatória x_i adquire, à partir da observação de uma determinada classe y. Neste caso esta afirmação está expressa na Equação 3, que resume no lado direito da igualdade, o produto de probabilidades condicionais de todas as variáveis aleatórias x_i à partir da observação de uma classe y.

$$P(x1, x2, \ldots, xd|y) = \prod_{i=1}^{d} P(xi|y) \tag{3}$$

Ao assumir que cada variável aleatória x_i possui uma distribuição de probabilidades gaussiana em um suporte no domínio R, por indução, estas variáveis possuem média μ_i e variância σ_i definidas. Neste caso, o produto vetorial entre cada

suporte resulta em um limite de decisão que assume a forma de sino em *i* dimensões.

Este trabalho possui duas classes de decisão em função de sete variáveis aleatórias conforme a Equação 1. Neste caso as variáveis serão normalizadas no intervalo fechado entre 0 e 1, porém é esperado que as médias e as variâncias destas variáveis sejam distintasentre si. Isto significa que a superfície resultante do produto vetorial de $i = 7$ suportes é uma curva parabólica genérica com caudas gaussianas.

Assim, as redes Bayesianas irão convergir para estruturas médias, à medida que novas amostras são fornecidas durante a etapa de treinamento (Saritas and Yasar, 2019). Ocusto computacional é um fator preponderante neste algoritmo, pois é necessário atualizara probabilidade condicional a cada nova entrada (Tsangaratos and Ilia, 2016).

Ao final do treinamento, é fornecido um conjunto de instâncias que devem validar asuperfície de decisão. Por fim, problemas computacionais que envolvem a atribuição de valor zero a uma probabilidade é solucionado com a suavização de Laplace, que adiciona um número ε a cada classe.

Por definição é necessário assumir que as distribuições das variáveis aleatórias são independentes, e sendo assim, problemas que envolvem dados correlacionados impedem a acurácia do algoritmo. Contudo, neste trabalho a temperatura de fundo (Tf), a temperaturade entrada (Tf), a vazão de refluxo (Qr) e a concentração de C_4 no C_5 (K45) são linearmente independentes entre si.

4.2 Máquina de vetor de suporte

Uma máquina de vetor de suporte cria hiperplanos de separação com complexidade ajustável e desta forma, este algoritmo pode ser utilizado como um classificador multivariável ou identificador de *outliers* (Scholkopf and Smola, 2018). A utilização de um*kernel*, que promove alterações nos hiperplanos de separação ou a adaptação de uma suavização das margens, permitem que a máquina de vetor de suporte encontre hiperplanosde separação, por meio de uma transformação não-linear de um espaço de alta dimensionalidade (Huang et al., 2018).

Em síntese máquina de vector de suporte é um algoritmo que constrói hiperplanos de separação, em função de um vector de pesos w_o (Haykin, 2007). Em uma amostra de tamanho N, com variáveis x_i de rótulo d_i, é viável estabelecer o problema de optimização por meio dos multiplicadores de Lagrange l_i, que maximizam a função objectivo da Equação 4.

$$\max \sum_{i=1}^{N} l_i - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} l_i l_j d_i d_j {x_i}^T x_j \tag{4}$$

$$\text{subject to a } \sum_{i=1}^{N} lidi = 0$$

$$0 \leq l_i \leq C$$

Os vectores de peso ótimos w_o e o bias são calculados de acordo com as Equações 5 e 6

$$wo = \sum_{i=1}^{N} lidixi \tag{5}$$

$$b_o = 1 - w_o^T x_i \text{ iff } d_i = 1 \tag{6}$$

O kernel $x_i^T x_j$ da Equação 4, pode ser substituído por um produto de funções $k(x,x')$. Para isto, é suficiente e necessário que $k(x,x')$ seja simétrico, contínuo, possua autofunções $\varphi(x)$ e $\varphi(x')$ de autovalores positivos e atenda as restrições de Mercer, que estão descritas nas Equações 7 e 8.

$$\int_b^a \int_b^a k(x,x')\,\varphi(x)\varphi(x')\,dx\,dx' \geq 0 \tag{7}$$

$$\int_b^a \varphi(x)^2 dx < \infty \tag{8}$$

Ao supor que k_1 e k_2 sejam kernels distintos, as propriedades a seguir são válidas. Isto permite interpretar que uma máquina de vector de suporte, é um algoritmo de separação e classificação por kernels (Haykin, 2007).

$$k(x,x') = \alpha k_1(x,x') + \beta k_2(x,x') \text{ for } \alpha,\beta \geq 0 \quad (9)$$

$$k(x,x') = exp\left(\frac{-||x-x'||^2}{\sigma^2}\right) \quad (10)$$

4.3 Análise de variabilidade

A análise da variabilidade da concentração de pentanos (C_5) no produto de topo K54, caracteriza a qualidade do GLP em relação ao ensaio de intemperismo. A redução da variabilidade deste parâmetro é fundamental para a manutenção da qualidade do produto e portanto, deve ser monitorada e controlada (Loehlin and Beaujean, 2016).

As técnicas desenvolvidas para a garantia da otimização do processamento foram as Curvas de Média Móvel Acumuladas, para determinar os pontos de tomada de decisão com intuito de prever o intemperismo e as Curvas de Desvio Padrão Acumulado, que deve medira variabilidade do processo, a fim de garantir a qualidade do GLP e atender as diretrizes daprodução enxuta (Womack and Jones, 2017).

Assim, como os algoritmos aprendem a classificação binária, é necessário uma adaptação que possibilite monitorar a tendência da classificação após a rede treinada. No algoritmo de Bayes é inserido uma função acumulativa que monitora a tendência de cada nova instância, sem que seja realizada uma nova atualização das funções de distribuição condicional. Com isto é possível verificar a direção de novas instâncias em uma rede passada e após um intervalo de tempo onde não acontece o desenquadramento, atualiza-setoda a rede (Faris *et al.,* 2016).

Para a SVM, a ideia é basicamente a mesma, ao computar a variação do total de atualizações das margens de separação é verificado a tendência do comportamento, que deve reduzir ou ampliar a região de classificação correta (Scholkopf and Smola, 2018).

5. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

A configuração das redes de Bayes é iniciada pela determinação das funções de densidade de probabilidade de cada variável aleatória da Eq. 1. Ao assumir que estas

funções estão descorrelacionadas, inicia-se a etapa de treinamento que define as regiões declassificação. A MVS utiliza o kernel gaussiano conforme Eq. 10, que é escalonado iterativamente pela Eq. 9, onde o parâmetro α é iniciado em 1 e o parâmetro β em 0. As margens são mantidas rígidas com regularização Lasso.

Na etapa de testes, considera-se acerto de classificação, quando o ponto de comportamento (instância) é classificado como enquadrado e necessariamente, esta classificação está correta (AE). Por conseguinte, também será uma classificação correta, quando a instância é classificada como desenquadrado e necessariamente este ponto de comportamento é desenquadrado (AD).

O erro de classificação pelo algoritmo acontece quando a instância é classificada como enquadrada e definitivamente a instância é desenquadrado (EE). Na mesma ótica, quando a instância é classificada como desenquadrado e necessariamente o ponto de comportamento é enquadrado (ED), ocorre um erro de classificação.

A validação utiliza 400 amostras e os resultados obtidos para algoritmo estão na Tabela 2, onde utiliza-se da validação cruzada para assegurar a generalização do modelo em relação à classificação.

Tabela 2 – Resultados da validação

Algoritmo	AE	AD	EE	ED	Acurácia(%)
Bayes	190	189	12	9	94.45
Bayes CV	191	190	11	8	95.01
MVS	200	198	2	0	99.49
MVS CV	199	198	2		99.24

A acurácia relativamente inferior das redes de Bayes em relação a MVS, é devido à necessidade de assumir que os dados estão descorrelacionados, para posteriormente construir a rede. Ainda assim, essas redes de Bayes apresentam acurácia suficiente, com controle de *overfitting* pela validação cruzada.

Na Figura 2, em azul encontra-se o monitoramento do intemperismo e o desenquadramento. A curva de decisão em laranja traz a informação de tendência ao desenquadramento, monitorada pela rede de Bayes, onde o ponto em que é necessário uma tomada de decisão está determinado de forma antecipada, pela interseção da respectiva curva com o eixo do intemperismo. A curva em cinza, denominada curva de contingência, realiza o mesmo procedimento para a máquina de vetor de suporte.

Figura 2 – Curva de Média Móvel sem Alteração de Parâmetros do Processo

Na Figura 3 as curvas apresentam o intemperismo devidamente controlado, por meiode alterações produzidas no simulador. Neste caso, realizou-se o aumento da vazão de refluxo, quando a curva em laranja cruzou o eixo do intemperismo em amarelo. Entende- se que, diferentes decisões aplicadas à outros parâmetros poderiam alterar, de mesma maneira o comportamento do intemperismo, porém a devida atuação surtiu o efeitonecessário para garantir o enquadramento do GLP e a estabilidade da produção.

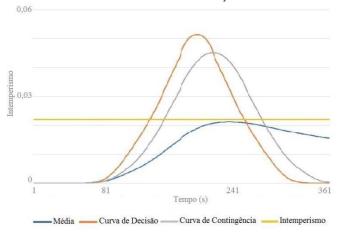



Figura 3 – Curvas de Média Móvel com Alteração de Parâmetros da Produção

Observa-se em outra simulação a caracterização do aumento da variabilidade da composição da produção, esta variabilidade também possui a capacidade de desencadear oprocesso de desenquadramento do GLP. A Figura 4, permite observar que o aumento da variabilidade aconteceu em média constante e a curva de decisão, em laranja, prevê o aumento da variabilidade. Nesta figura, nenhuma medida de controle foi adotada e a variabilidade do processo permitiu o desenquadramento do GLP.

Figura 4 – Curvas de Desvio Padrão sem Alteração de Parâmetros da Produção

Por fim, em uma outra simulação utilizando os mesmos dados para o desenvolvimento da Figura 4, fez-se uso de uma tomada de decisão, aumentando o refluxoda torre simulada quando a curva em laranja cruzou o eixo do intemperismo e o resultadodesta ação está representado nas curvas da Figura 5, onde foi possível prever o comportamento e atuar nos parâmetros do processo impedindo o desenquadramento do GLP.

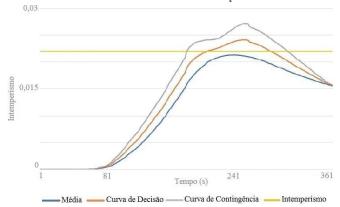



Figura 5 – Curvas de Desvio Padrão com Alteração de Parâmetros da Produção

6. CONCLUSÕES

Este trabalho desenvolve dois algoritmos e uma ferramenta para a análise da variabilidade, com intuito de auxiliar a tomada de decisão no fracionamento de gás naturale produção de GLP. Os algoritmos e a análise da variabilidade apontam a tendência dos parâmetros do processo e assim, permite que o controle da variabilidade seja realizado de acordo com os princípios da produção enxuta.

Existe uma diferença relativa entre a curva de decisão e a curva de contingência, que remete aos índices acumulados pelos dois algoritmos deste

trabalho, unicamente pelo fatode estarem computando sobre espaços diferentes em margens de tolerância e parâmetros de regularização distintos. Como o índice da MVS é mais restritivo, optou-se por representar duas curvas que servem para aumentar a compreensão da tendência ao desenquadramento.

O algoritmo de máquina de vetor de suporte apresenta o melhor desempenho na simulação, porém a rede de Bayes é satisfatória para esta aplicação. Por fim, ao utilizar-sedas ferramentas desenvolvidas a tomada de decisão torna-se viável, e deste modo, a produção enxuta é obtida por meio da redução da variabilidade e monitoramento da tendência do processo.

REFERÊNCIAS

Bahadori, A. (2014). *Natural gas processing: technology and engineering design*. Gulf Professional Publishing.

Bakosova, M., Oravec, J., Vasickaninova, A., and Mészáros, A. (2017). Neural-network- based and robust modelbased predictive control of a tubular heat exchanger. *Chemical Engineering Transactions*, 61, 301–306.

de Almeida, J.d.S.C., Araújo, O.d.Q.F., and de Medeiros, J.L. (2016). Produção offshore de gás natural rico em CO_2: Cenário dutos subsea com meg e processamento onshore.

Diehl, F.C., Almeida, C.S., Anzai, T.K., Gerevini, G., Neto, S.S., Von Meien, O.F., Campos, M.C., Farenzena, M., and Trierweiler, J.O. (2018). Oil production increase in unstable gas lift systems through nonlinear model predictive control. *Journal of Process Control*, 69, 58– 69.

Faris, H., Aljarah, I., and Mirjalili, S. (2016). Training feedforward neural networks usingmulti-verse optimizer for binary classification problems. *Applied Intelligence*, 45(2), 322–332.

Fatima, S.A., Zabiri, H., Taqvi, S.A.A., and Ramli, N. (2019). System identification of industrial debutanizer column. In *2019 9th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, 178–183. IEEE.

Haykin, S. (2007). *Redes neurais: princípios e prática*. Bookman Editora.

Huang, S., Cai, N., Pacheco, P.P., Narrandes, S., Wang, Y., and Xu, W. (2018). Applications of support vector machine (svm) learning in cancer genomics. *Cancer Genomics-Proteomics*, 15(1), 41–51.

Jin, C. and Lim, Y. (2019). Optimization and economic evaluation of integrated natural gasliquids (ngl) and liquefied natural gas (lng) processing for lean feed gas. *Applied ThermalEngineering*, 149, 1265–1273.

Kidnay, A.J., Parrish, W.R., and McCartney, D.G. (2019). *Fundamentals of natural gas processing*. CRC press.

Loehlin, J.C. and Beaujean, A.A. (2016). *Latent variable models: An introduction to factor,path, and structural equation analysis*. Taylor & Francis.

Marodin, G.A., Saurin, T.A., Tortorella, G.L., and Fettermann, D.d.C. (2018). Model of risk interactions hindering lean production implementation. *Gestão & Produção*, 25(4), 696–712.

Martin, R., Mess, R., Walker, S.G., et al. (2017). Empirical bayes posterior concentration in sparse high-dimensional linear models. *Bernoulli*, 23(3), 1822–1847.

Panapakidis, I.P. and Dagoumas, A.S. (2017). Day-ahead natural gas demand forecasting based on the combination of wavelet transform and anfis/genetic algorithm/neural networkmodel. *Energy*, 118, 231–245.

Sanders, A., Elangeswaran, C., and Wulfsberg, J.P. (2016). Industry 4.0 implies lean

manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(3), 811–833.

Saritas, M.M. and Yasar, A. (2019). Performance analysis of ann and naive bayes classification algorithm for data classification. *International Journal of Intelligent Systemsand Applications in Engineering*, 7(2), 88–91.

Sayed, A.E.R., Ashour, I., and Gadalla, M. (2017). Integrated process development for anoptimum gas processing plant. *Chemical Engineering Research and Design*, 124, 114–123.

Scholkopf, B. and Smola, A.J. (2018). *Learning with kernels: support vector machines, regularization, optimization, and beyond*. Adaptive Computation and Machine Learning series.

Silva, R.D. et al. (2017). *Manual e check-list para acompanhamento de manutenções e prevenção de acidentes em instalações de gás LP*. Master's thesis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.

Slack, N., Chambers, S., Johnston, R., and Betts, A. (2013). *Gerenciamento de Operaçõese de Processos: Princípios e práticas de impacto estratégico*. Bookman Editora.

Tgarguifa, A., Abderafi, S., and Bounahmidi, T. (2017). Energetic optimization of moroccan distillery using simulation and response surface methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 415–425.

Thomas, J.E. et al. (2004). Fundamentos de engenharia de petróleo. 2ª edição. *Editora Interciência*.

Tsangaratos, P. and Ilia, I. (2016). Comparison of a logistic regression and naïve bayes classifier in landslide susceptibility assessments: The influence of models complexity andtraining dataset size. *Catena*, 145, 164–179.

Witten, I., Frank, E., Hall, M., and Pal, C. (2017). *Data mining: practical machine learningtools and techniques*. Elsevier.

Womack, J.P. and Jones, D.T. (2017). *Lean thinking. Come creare valore e bandire gli sprechi*. goWare & Guerini Next.

Zhou, J., Kooijman, H., and Taylor, R. (2019). Parallel column model for dividing wall column simulations. *Computers & Chemical Engineering*, 125, 114–133.

CAPÍTULO 12

ANÁLISE DE AVARIAS EM ROLAMENTOS, UTILIZANDO ALGORITMOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

André da Silva Barcelos
Doutorando em Engenharia Eletrotécnica de Computadores pela Universidade da BeiraInterior
Instituição: CISE-Electromechatronic Systems Research Centre – University of BeiraInterior / Covilhã – Portugal
Endereço: Convento de Sto. António. 6201-001 Covilhã. Portugal.
E-mail: andre.s.barcelos@ubi.pt

Fábio Muniz Mazzoni
Mestrando em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais pela Universidade Federal Fluminense
Instituição: Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Fluminense (UFF)
Endereço: Rua Recife, s/n, Jardim Bela Vista, Rio das Ostras – RJ, Brasil
E-mail: fabiomazzoni@id.uff.br

António João Marques Cardoso
Professor Doutor em Engenharia Elétrica na Universidade da Beira Interior
Instituição: CISE-Electromechatronic Systems Research Centre – University of BeiraInterior / Covilhã – Portugal
Endereço: Convento de Sto. António. 6201-001 Covilhã. Portugal.
E-mail: ajmcardoso@ieee.org

RESUMO: Os motores de indução trifásicos são utilizados em larga escala, onde sabe-se que a manutenção destas máquinas é preponderante para a continuidade de processos industriais. Pesquisas recentes apontam que, as avarias nos rolamentos são recorrentes eque se torna necessário desenvolver técnicas para análise, previsão e diagnóstico destas avarias. Neste contexto, este trabalho calcula as transformadas wavelet de Daubechies e Hilbert-Huang dos sinais de corrente de um motor de indução trifásico, quer para a condição normal de funcionamento e quer com avarias. Em seguida, utilizam-se ferramentas estatísticas para extrair as características dos sinais transformados, tendo como finalidade a criação de uma base de dados para analisar e diagnosticar avarias, comauxílio de algoritmos da inteligência artificial. Os resultados apontam que é possível classificar avarias em rolamentos, utilizando a proposta desenvolvida neste trabalho, comum desempenho superior a 98%.

PALAVRAS-CHAVE: Motor de Indução Trifásico, Identificação de Falhas Em Rolamentos,Transformadas no Domínio Tempo-Frequência, Inteligência Artificial.

ABSTRACT: Three-phase induction motors are used on a large scale, where it is known that the maintenance of these machines is preponderant for the continuity of industrial processes.Recent research shows that bearing failures are recurrent and it is necessary to develop techniques for analyzing, predicting and diagnosing these failures. In this context, this work calculates the Daubechies wavelets and Hilbert-Huang transforms of the current signals of a three-phase induction motor both in normal

condition and with failures. Then, statistical tools are used to extract characteristics from the transformed signals, with the purpose of creating a database to analyze and diagnose malfunctions, with artificial intelligence algorithms. Results show that it is possible to classify failures in bearings, using the proposal developed in this work, with a performance higher than 98%.

KEYWORDS: Three-Phase Induction Motor, Bearing Failures Identification, Time-Frequency Transforms, Artificial Inteligence.

1. INTRODUÇÃO

A conversão de energia elétrica em mecânica está presente nos processos industriais, onde os motores de indução trifásicos (MITs), são responsáveis por acionar equipamentos, tais como bombas, válvulas, esteiras, hélices, elevadores, entre outros. Devido ao custo reduzido de fabricação e a versatilidade para aplicações com alto rendimento, estima-se que 70% da energia consumida no setor industrial da União Europeia, está diretamente relacionada com a utilização de motores elétricos trifásicos (Merizalde et al., 2017).

Devido às características de construção e operação do MIT, avarias quer elétricasquer mecânicas podem ocorrer nessas máquinas, acarretando redução de desempenho ou interrupção de processos industriais (Cerrada et al., 2018). Os estudos publicados pelos *Institute of Electrical and Eletronics Engineers* (IEEE) e *Eletric Power Research Institute* (EPRI), apontam as falhas encontrados nos MITs conforme Tabela 1.

Tabela 1: Percentual de falhas no MIT de acordo com a EPRI e IEEE

As principais falhas mecânicas nos MITs, são causadas por impactos, devido à fricção do rotor com o estator, desgaste, danos durante a montagem, sobreaquecimento, quebra debarras, falhas nas pistas externa, interna e esferas dos rolamentos, desalinhamento, lubrificação insuficiente, torção e sobrecarga do eixo (Cardoso, 1991; Merizalde *et al.,* 2017).

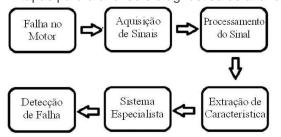



Figura 1 – Etapas para a análise e diagnóstico de avarias em motores.

Para descrever a metodologia adotada para diagnosticar avarias em rolamentos, aseção 2 apresenta o rolamento e as características associadas. Ainda nesta seção, são descritas as transformadas wavelet (TW) e Hilbert-Huang (THH), que são utilizadas na etapa de processamento de sinais. Em seguida descreve-se uma máquina de vetor de suporte (MVS) e uma rede neural artificial (RNA) para a

etapa de diagnóstico.

Na seção 3, definem-se as bases de dados, as medidas estatísticas e os parâmetrosdos algoritmos de IA. Na seção 4 apresentam-se os resultados obtidos na identificação deavarias dos rolamentos, com desempenho superior a 96% em todos os algoritmos, por último as principais conclusões encontram-se na seção 5.

2. BASE TEÓRICA

2.1 Avarias em rolamentos

	Falha nos rolamentos	Falhas elétricas	Outros
EPRI	42%	48%	10%
IEEE	40%	36%	24%

No momento em que um MIT gira com uma avaria no rolamento, surgem frequências associadas, que são percebidos nas correntes do rotor e do estator. A Figura 2, apresenta um rolamento, onde se encontram representados os detalhes geométricos necessários, para descrever as equações do funcionamento e as frequências típicas que estão associadas às avarias (Rao *et al.*, 2019).

Figura 2 – Detalhes geométricos de um rolamento com 10 esferas

No trabalho de (Silva and Cardoso, 2005a; Silva and Cardoso, 2005b), encontram-se os detalhes para a obtenção das equações 1, 2, e 3, as avarias nas pistas externas, internae ainda nas esferas.

$$f_o = \frac{N_b}{2} f_r \left(1 - \frac{D_B}{Dp} cos\beta\right) \quad (1)$$

$$f_i = \frac{N_b}{2} f_r \left(1 + \frac{D_B}{Dp} cos\beta\right) \quad (2)$$

$$f_b = \frac{D_b}{D_l} f_r \left(1 - \frac{D_B^2}{D_p^2} cos^2\beta\right) \quad (3)$$

onde:

f_o frequência típica da pista externa (Hz); f_i frequência típica da pista interna (Hz); f_b frequência típica das esferas (Hz);

f_r frequência de rotação do motor (Hz);

D_p diâmetro primitivo (mm);

D_b diâmetro da esfera (mm); N_b número de esferas;

β ângulo de contato.

O trabalho de (Bessous et al., 2018), propõe que as equações 1 e 2, podem ser aproximadas pelas expressões 4 e 5, para rolamentos de 6 a 12 esferas que são encontrados na maioria das aplicações.

$$f_o = 0.4 N_b f_r \quad (4)$$

$$f_i = 0.6 N_b f_r \quad (5)$$

2.2 Transformada wavelet

A transformada de Fourier (FT) é utilizada na etapa de processamento de sinais, para adquirir informações de sinais estacionários, no domínio da frequência. Adaptações nesta transformada, como a Short-Time Fourier Transform (STFT), permite a utilização de uma janela de amostragem fixa, que localiza as informações no domínio do tempofrequência em resolução constante (Aimer et al., 2019).

Em muitas aplicações, a utilização da STFT torna-se inadequada, pois os sinais de corrente do MIT em condição de avaria, apresentam variações dinâmicas na frequência que caracterizam um sinal não-estacionário. (Bessous et al., 2018). Para o processamento de sinais não-estacionários, utilizam-se transformadas em multiresolução que constroemjanelas de amostragem de largura variável, no domínio do tempo-frequência (Kamiel andHoward, 2019).

Nesse contexto, a transformada wavelet consegue atender à necessidade de multiresolução, para processamento de sinais não-estacionários no domínio tempo-frequência, pois esta transformada possibilita a utilização de janelas de amostragem de largura variável, de acordo com cada evento no tempo (Gupta et al., 2019). A Equação 6expressa o produto interno entre o sinal amostrado e a wavelet.

$$\langle f(t), \psi_{a,b}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \qquad (6)$$

em que <> denota o produto interno, a função ψ é a wavelet, os parâmetros *a* e *b* são os fatores de escalonamento e translação. A alteração do parâmetro *a*, possibilita o escalonamento das janelas de amostragem do sinal *f*(*t*).

Para uma função $\psi_{a,b}$ ser definida como wavelet, ela deve pertencer ao espa¸co L^2(espaço das funções integráveis em Lebesgue, em que o seu quadrado também seja), possuir regularidade e energia finita conforme as equações 7 e 8.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t)dt = 0 \qquad (7)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(t)|^2 \, dt < \infty \qquad (8)$$

2.3 Transformada wavelet discreta

A transformada wavelet discreta (TWD) da função $\psi_{a,b}$, é obtida ao definir que os parâmetros *a* e *b* são inteiros em um intervalo fechado. Ao fazer com que o parâmetro *b* seja dependente de *a*, chega-se a expressão de uma wavelet $\psi_{m,n}$ com fatores de escalonamento e translação inteiros, conforme as Equações 9 e 10, onde m e n são inteirosque devem ser escolhidos de acordo com a forma da wavelet.

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{-m/2} \psi(a_0^{-m} t - nb_0) \qquad (9)$$

$$DWT_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{a^m}} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} f(k)\psi\left(\frac{w(t)}{a_o^m}\right) \qquad (10)$$

$$w(t) = t - nb_o a_o^m \qquad (11)$$

Interpretação da wavelet

O produto interno entre o sinal *f*(*t*) e a wavelet $\psi_{a,b}(t)$, produz coeficientes que constituem um sinal transformado (S). Este sinal é decomposto através de filtros passa- alta e passa-baixa, para gerar dois novos sinais, que contém o conjunto de coeficientes *g*[*k*] (passa-alta) e *h*[*k*] (passa-baixa). (Bayro-Corrochano, 2019).

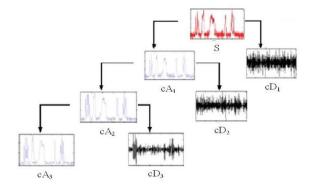
Para construção destes filtros, o parâmetro de escalonamento é redefinido para uma função *φ*(*t*), que depende dos coeficientes da filtragem *h*[*k*] conforme Equação 12. A função $\psi_{a,b}(t)$ é redefinida para depender da função de escalonamento e de *g*[*k*], conforme a Equação 13 (Gupta et al., 2019).

$$\phi(t) = \sqrt{2}\ \sum_{x\in Z} h[k]\phi(2t - k) \qquad (12)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2}\ \sum_{x\in Z} g[k]\phi(2t - k) \qquad (13)$$

Desta forma, o sinal S é dividido em duas bandas de filtragem, onde a banda passa-baixas (LP), é formada pelo sinal *h*[*k*] e recebe o nome de coeficientes de aproximação (cA). A banda passa-altas (HP), é formada por *g*[*k*] e recebe o nome de coeficientes dos detalhes (cD) (Bessous et al., 2018).

A decomposição em multiresolução, consiste em utilizar o cA do sinal S, em sucessivas transformadas DWT, com a finalidade de extrair diversos níveis de detalhes, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Decomposição do sinal amostrado S em três níveis de Aproximações e Detalhes

Torna-se necessário definir o último nível em que a decomposição cD extrai

detalhes do sinal amostrado, sem redundância da informação. Os teoremas explicados em(Bessous et al., 2019) e (Ghods and Lee, 2016) definem um critério de finalização para adecomposição sucessiva, conforme Equação 14.

$$N = int\left[\frac{log\left(\frac{f_a}{f_f}\right)}{log(2)}\right] \qquad (14)$$

Onde N é o nível máximo de detalhamento, f_a é a frequência da amostragem e f_f é afrequência do motor. Evidencia-se que os níveis cD, dependem da taxa de amostragem.

Wavelets de Daubechies

As wavelets propostas por Daubechies em seu trabalho original (Daubechies, 1988), são funções ψ(t) em bases ortonormais, com suporte compacto, regularidade e número máximo de momentos nulos (Gupta et al., 2019). A Figura 4 apresenta a waveletde Daubechies de ordem N=12 (D12), com N/2 = 6 momentos nulos e suporte compactoN-1 = 11.

Observa-se que a D12 possui máximo e mínimo definidos, energia finita, limita- se ao suporte e tem média zero, conforme equações 7 e 8. O momento nulo, relaciona-se com a suavidade da

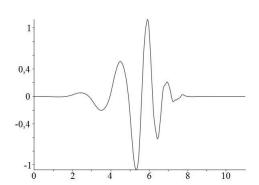



Figura 4 – Esboço de uma wavelet D12

resposta em frequência e a capacidade de representar polinômios. Para definir a existência de k momentos nulos, a Equação 15 deve ser satisfeita (Narendiranath et al., 2017).

$$\int x^k \psi(x)dx = 0 \qquad (15)$$

As propriedades que determinam a escolha de wavelets de Daubechies, são a ortogonalidade, máximo e mínimo definidos e a quantidade máxima de momentos nulosem suporte compacto. Por definição, suporte compacto é um intervalo fechado que contém toda a energia da função. Fora deste intervalo a energia deve ser zero ou exponencialmente decrescente (Narendiranath et al., 2017).

2.4 Transformada de hilbert-huang

A transformada de Hilbert-Huang (HHT) decompõe um sinal amostrado no planocomplexo e torna-se adequada para sinais não-estacionários (Bessous et al., 2019), ondese utilizam as equações 16 e 17 para a obter HHT do sinal (s).

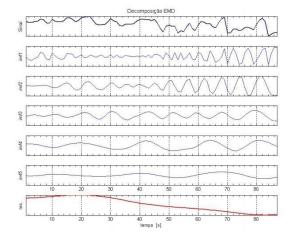
$$H(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(\tau)}{t-\tau} d\tau \qquad (16)$$

$$z(t) = s(t) + iH(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \qquad (17)$$

onde H(t) é a HHT, i é o número imaginário e P representa o valor principal de Cauchy. Para calcular a HHT, utiliza-se uma técnica denominada *Empirical Mode Decomposition* (EMD) desenvolvida por Huang e demais pesquisadores (Bessous et al., 2019). Inicialmente, calculam-se os extremos, a média e a função de interpolação de duascurvas envolventes do sinal amostrado s(t) no domínio do tempo, conforme a Figura 5.

Em seguida, ajusta-se iterativamente a interpolação das envoltórias em cada pontode máximo e mínimo local, através de uma algoritmo denominado *sifting*, com a finalidade de obter funções conhecidas como *Intrinsic Mode Functions* (IMF). Uma função é definida como IMF de um sinal s(t), quando a quantidade de zeros, máximos e mínimos são iguais, ou diferem de uma unidade e as duas curvas envolventes possuem média nula em cada ponto. A Figura 6, apresenta um exemplo de IMF’s geradas e o resíduo das interpolações somadas.

Figura 5 – Esboço das envoltórias interpoladas para a EMD

Figura 6 – Decomposição de um sinal, IMF’s e resíduo em vermelho

Após a obtenção das IMF’s, calcula-se a HHT com a finalidade de obter o espectrodo sinal no domínio do tempo-frequência. Importa ressaltar que cada IMF contém parte da informação do comportamento do sinal e pode ser utilizada diretamente pelos algoritmos de IA sem que seja necessário calcular a HHT conforme é proposto na seção 3 deste trabalho.

2.5 Rede neural artificial

A rede neural artificial (RNA) é uma ferramenta da IA, que estabelece relações não-lineares entre entrada e saída (Witten et al., 2016). Espera-se que a RNA aprenda, através do processo iterativo de ajustes de pesos com minimização de erros de classificação dentro de um critério de finalização (Yegnanarayana, 2009).

2.6 Máquina de vetor de suporte

Um algoritmo de máquina de vetor suporte (MVS) desenvolve hiperplanos de complexidade ajustável, com a finalidade de classificação de dados. Desta forma, a MVSé utilizada como classificador multivariável, regressor e identificador de *outliers* (Smolaand Scholkopf, 2004).¨

Os hiperplanos criados estabelecem uma margem de separação para classificaçãodas instâncias da base de dados e posterior generalização. A utilização de um *kernel* permite que a MVS encontre hiperplanos de separação, através de uma transformação não-linear de um espaço de alta dimensionalidade (Witten et al., 2016).

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Este trabalho utiliza quatro bases de dados abertas, elaboradas pela *Chair of Design and Drive Technology* da Universidade de Paderborn na Alemanha, para análise de avarias em rolamentos. O trabalho de (Lessmeier et al., 2016) explica como foram realizados os testes e a classificação das bases.

A base de dados K002, contém um motor íntegro e será utilizada na comparação com as bases de motores com avarias em rolamentos. Na base KA07, encontra-se um rolamento avariado com furo pontual, localizado na pista externa, com diâmetro da avariamenor que 2mm.

As bases KI04 e KA08 apresentam um rolamento com corrosão pontual, com diâmetro de avaria menor que 2mm, na pista interna e externa respectivamente. Por último, a base KI18 contém um rolamento com corrosão pontual, com diâmetro de avariamenor que 4mm, na pista interna. Aplica-se a TWD D20, para gerar 6 sinais de detalhes e a EMD para calcular 6 IMF's. Em seguida, extraiu-se a média, média harmônica, curtose, antisimetria e entropia dos sinais transformados. Na MVS, utilizou-se o kernel gaussiano (g-MVS) e o polinomial de ordem p $[1,xy,x,y]^p$ (p-MVS). Para o fator complexidade, variou-se exponencialmente o parâmetro c na base 2, até que as classificações atingissem desempenho acima de 96%.

A RNA, inicialmente contém apenas 1 camada oculta, com 12 neurônios ealgoritmo de retro-propagação do erro. Para os testes, limitouse a 1000 épocas, com taxa de aprendizagem entre 0,32 a 0,10, momento entre 0,2 e 0,1, tempo de

computação de 0,15 horas e regularização *Lasso*. Realizaram-se alterações na arquitetura da rede, limitadas entre 8 e 16 neurônios na camada oculta.

A seguir, mostram-se os resultados na comparação entre o motor íntegro e o motorcom avaria, com os algoritmos wavelet-MVS, waveletRNA, EMD-MVS e EMD-RNA. Percebe-se que o treino das redes somente com IMF's, sem efetuar a transformada de Hilbert, apresenta um resultado relevante.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A concatenação da base de dados (K002, KA07, KI04, KA08 e KI18) gera 20000 instâncias. A Tabela 2, apresenta o desempenho da TWD D20, com 6 decomposições dedetalhes em 5 características (30 variáveis).

Tabela 2 – Desempenho de classificação com wavelet Daubechies de ordem 20

	KA07	KA08	KI04	KI18
RNA	0,991	0,966	0,962	0,984
p-MVS	0,986	0,974	0,986	0,971
g-MVS	0,970	0,961	0,961	0,975

As classificações com a MVS em kernel gaussiano (g-MVS) apresentam desempenho inferior aos demais. Os algoritmos RNA e a MVS com kernel polinomial p = 1, (p-MVS) convergem o treino na ordem de 100 segundos. A Tabela 3 apresenta osresultados obtidos com as 6 IMF's e as mesmas características extraídas (30 variáveis).

Tabela 3 – Desempenho de classificação através da EMD e IMF's

	07	KA08	KI04	KI18
NA	0,984	0,998	0,982	0,984
p-MVS	0,988	0,987	0,990	0,991
g-MVS	0,963	0,964	0,978	0,975

Ao comparar as duas tabelas, percebe-se que as duas transformadas apresentam resultados semelhantes. Observa-se que as avarias acentuadas, relacionadas nas bases dedados KA07 e KI18 são classificadas com desempenho superior. Com isto é possível monitorar a tendência de aumento ou degradação de uma avaria, a medida que uma classificação melhora em desempenho.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta as bases para a análise de avarias em rolamentos e duas transformadas de sinais não-estacionários, que são a wavelet discreta de Daubechies e a EMD de Hilbert-Huang. Propõe cinco características que devem ser extraídas destes sinais e utiliza uma rede neural artificial e máquinas de vetor de suporte para diagnósticode avarias.

No final deste trabalho, apresentam-se os resultados obtidos pela classificação e conclui-se que, após os ajustes necessários, é possível classificar as avarias em rolamentos utilizando-se os sinais de corrente elétrica do motor, com desempenho na ordem de 98%de acertos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado pelo Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa Operacional para a Competitividade e a Internacionalização (COMPETE 2020), no âmbito do Projecto POCI-01-0145-FEDER029494, e por Fundos Nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), no âmbito dos Projectos PTDC/EEI-EEE/29494/2017, UIDB/04131/2020 e UIDP/04131/2020. Os autores agradecem ainda à Petrobras Transporte S.A.

REFERÊNCIAS

Aimer, A. F., Boudinar, A. H., Benouzza, N., Bendiabdellah, A. et al. (2019). Bearing fault diagnosis of a pwm inverter fed-induction motor using an improved short time fourier transform, Journal of Electrical Engineering & Technology 14(3): 1201–1210.

Bayro-Corrochano, E. (2019). Applications of lie filters, quaternion fourier, and wavelettransforms, Geometric Algebra Applications Vol. I, Springer, pp. 489–517.

Bazan, G. H., Scalassara, P. R., Endo, W., Goedtel, A., Godoy, W. F. and Palácios, R. H.
C. (2017). Stator fault analysis of three-phase induction motors using information measures and artificial neural networks, Electric Power Systems Research 143: 347–356.

Bessous, N., Sbaa, S. and Megherbi, A. (2019). Mechanical fault detection in rotating electrical machines using mcsa-fft and mcsa-dwt techniques, Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences 67(3).

Bessous, N., Zouzou, S., Bentrah, W., Sbaa, S. and Sahraoui, M. (2018). Diagnosis of bearing defects in induction motors using discrete wavelet transform, International Journal of System Assurance Engineering and Management 9(2): 335–343.

Cardoso, A. J. M. (1991). Diagnóstico de avarias em motores de indução trifásicos, Universidade de Coimbra.

Cerrada, M., Sánchez, R.-V., Li, C., Pacheco, F., Cabrera, D., de Oliveira, J. V. and Vásquez, R. E. (2018). A review on data-driven fault severity assessment in rolling bearings, Mechanical Systems and Signal Processing 99: 169–196.

Daubechies, I. (1988). Orthonormal bases of compactly supported wavelets, Communications on pure and applied mathematics 41(7): 909– 996.

Ghods, A. and Lee, H.-H. (2016). Probabilistic frequency-domain discrete wavelet transform for better detection of bearing faults in induction motors, Neurocomputing 188:206–216.
Gupta, K. et al. (2019). Daubechies wavelets: Theory and applications, Master's thesis, Thepar Institute of engineering and technology.

Kamiel, B. P. and Howard, I. (2019). Ball bearing fault diagnosis using wavelet transformand principal component analysis, 2187: 50031.

Lessmeier, C., Kimotho, J. K., Zimmer, D. and Sextro, W. (2016). Condition monitoringof bearing damage in electromechanical drive systems by using motor current signals of electric motors: A benchmark data set for data-driven classification, Proceedings of the European conference of the prognostics and health management society, pp. 05–08.

Merizalde, Y., Hernández-Callejo, L. and DuquePerez, O. (2017). State of the art and trends in the monitoring, detection and diagnosis of failures in electric induction

motors,Energies 10(7): 1056.

Narendiranath, B. T., Himamshu, H., Prabin, K. N., Rama, P. D. and Nishant, C. (2017).Journal bearing fault detection based on daubechies wavelet, Archives of Acoustics 42(3):401–414.

Rao, S. G., Lohith, S., Gowda, P. C., Singh, A. and Rekha, S. (2019). Fault analysis of induction motor, 2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS), IEEE, pp. 1–4.

Silva, J. L. and Cardoso, A. M. (2005a). Bearing failures diagnosis in three-phase induction motors by extended park's vector approach, 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, 2005. IECON 2005., IEEE, pp. 6–pp.

Silva, J. L. and Cardoso, A. M. (2005b). Diagnóstico de avarias nos rolamentos de motores de indução trifásicos, Universidade de Coimbra.

Smola, A. J. and Scholkopf, B. (2004). A tutorial¨ on support vector regression, Statisticsand computing 14(3): 199–222.

Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A. and Pal, C. J. (2016). Data Mining: Practical machinelearning tools and techniques, Morgan Kaufmann.

Yegnanarayana, B. (2009). Artificial neural networks, PHI Learning Pvt. Ltd.

CAPÍTULO 13

A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS AUDIOVISUAIS NOS CURSOS SUPERIORES EM ENGENHARIAS DE UMA IES PRIVADA: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA DO IMPACTODA VIDEOAULA NO DESEMPENHO ACADÊMICO DOS ESTUDANTES

Muriel Batista de Oliveira
Doutora em Educação
Faculdade de Ciências Contáveis de Nova Andradina - FACINAN
Av. Antonio Joaquim de Moura Andrade, 910. Nova Andradina, MS. CEP 79750-000
E-mail: muriel1078@gmail.com

Luiz Claudio Tavares Silva
Mestre em Engenharia de Produção
Instituto Federal Fluminense - IFF
BR 356, km 3, Cidade Nova, Itaperuna, RJ. CEP 28300-000
E-mail: luizctsilva@gmail.com

RESUMO: Este artigo analisa a relevância da utilização de videoaulas por estudantes dos cursos presenciais de Engenharias Civil, de Produção, Elétrica e Mecânica do Centro Universitário Redentor em Itaperuna-RJ. A Educação a distância (EaD) expandiu-se suscitando recursos atraentes que podem ser usados no ensino presencial. A pesquisa quantitativa, descritiva, iniciou-se verificando, no registro acadêmico da referida Instituição de Ensino Superior (IES), quais disciplinas do ciclo básico das Engenharias apresentavam menor índice de aprovação e maior retenção. Detectadas as turmas em queeste fenômeno ocorria, aplicou-se a elas um questionário a fim de identificar se utilizavamvideoaulas, correlacionando com outras informações. Dados daí coletados subsidiaram oestudo comparativo das médias de notas dos estudantes que utilizaram ou não este recurso. A análise se deu por meio de técnicas de estatística descritiva e inferencial. Os principais referenciais foram: na Educação, Paulo Freire e Lev S. Vygostsky; no processode ensino-aprendizagem amparado no paradigma da complexidade, Edgar Morin; no ensino da Engenharia, Vanderlí Oliveira; sobre EaD e TICs, Wilson Yonezawa; nas videoaulas, Barrere, Scortegagna e Léllis. Ao final, não foram comprovadas diferenças significativas entre os dois grupos estudados. Concluiu-se que a videoaula é um recurso da EaD que, quando utilizado no ensino presencial, auxilia estudantes que têm dificuldade, perderam aula e/ou necessitam conciliar estudo e trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Educação a Distância, Engenharia, Processo de ensino-aprendizagem, Videoaula.

ABSTRACT: This article accesses the relevance of using video lessons during on-site classes for students from Civil, Production, Electrical, and Mechanical Engineering courses at Redentor College, in Itaperuna-RJ. The Distance Learning has expanded raising attractive features that can be used in classroom teaching. This research quantitative, and descriptive, started verifying, in the academic record of the Faculty, which of disciplinesin the basic cycle of Engineering course had higher failure rate and greater retention. Oncedetected the classes in which this phenomenon occurred the students answered a questionnaire in order to identify whether the video lessons were used or not, correlatingit with other information. The data collected has then subsidized

the comparative study over average grades of students, relating them with the use of the feature. For the analysis, it was applied descriptive and inferential statistics techniques. The main references for this research were: in Education field, Paulo Freire and Lev S. Vygotsky; in teaching learning process supported in complexity paradigm, Edgar Morin; in teaching of Engineering, Vandelei Oliveira; in distance learning and ICT, Wilson Yonezawa; and invideo lessons, Barrere and Scortegagna Lellis. The results did not prove significant differences between the two groups. As a conclusion, video lessons are a feature for distance learning and, when applied in classroom lessons, they can support students withlearning difficulty, the ones that lost classes, and/or the ones that need to combine work and studies.

KEYWORDS: Distance learning; Engineering; Learning-teaching process; Video lessons.

1. INTRODUÇÃO

Muitos ingressantes dos cursos de Engenharia desconhecem o que vão enfrentar na graduação pela qual optaram no exame de vestibular, um dos motivos que acarretam dificuldades e falhas ocasionando retenções em disciplinas e, na pior das hipóteses, evasão do curso. Quando se propõem a se ingressar no curso, geralmente estão imbuídosdo desejo de aquisição de um produto: o diploma, que se configura como garantia de inserção no mercado de trabalho. A crença irrefletida nesse produto promissor é desmistificada em face da realidade, pois ele não propicia o pilar de competição e/ou de permanência no emprego.

Nesse sentido, tem-se verificado que o docente atuante em tais cursos, em geral, carece de recursos pedagógicos e novos caminhos metodológicos para enfrentar essa problemática tão frequente nas diversas Instituições de Ensino Superior (IES) do País. Urge a busca de recursos que atraiam e retenham os graduandos nas IES e que, sobretudo,lhes garantam um ensino de qualidade, uma aprendizagem significativa que lhes assegureresultados satisfatórios.

A utilização das videoaulas requer do educador tomadas de atitudes não estritamente sistematizadas em manuais, compêndios, livros didáticos e módulos de ensino. Afinal, “O ensino é, pois, composto por padrões de comportamento que podem ser mudados através de treinamento, segundo objetivos pré-fixados.” (MIZUKAMI, 2003, p. 34).

A aprendizagem, por sua vez, há de partir de situações problema, questionadoras,para culminar em um nível de consciência desafiador do real. Coloca-se o discente próximo ao contexto de sua realidade, refletindo sobre soluções de problemas reais. As pessoas “pensam e quando pensam desenvolvem esquemas mais avançados de pensamento”. (MIZUKAMI, 2003, p. 77).

Em face de tais considerações, o presente estudo pretende responder à seguinte questão: até que ponto a utilização de videoaulas pelos estudantes dos cursos Superiores em Engenharias Civil, de Produção, Elétrica e Mecânica do Centro Universitário Redentor de Itaperuna-RJ - (UniRedentor), contribui para a melhoria da aprendizagem, impactando diretamente no aumento da média das notas e, consequentemente, no índice de aprovação?

A partir dessa problemática tem-se as seguintes hipóteses formuladas:

A hipótese nula (H_0) declara serem iguais os parâmetros média populacional

dos estudantes que utilizam o recurso de videoaula e média populacional dos que não utilizam o recurso de videoaula. Já a hipótese alternativa (H1), declara serem diferentes os parâmetros média populacional dos estudantes que utilizam o recurso de videoaula e média populacional dos que não utilizam o recurso de videoaula.

Este trabalho tem como Objetivo geral analisar a relevância da utilização de videoaulas pelos estudantes dos cursos Superiores em Engenharias Civil, de Produção, Elétrica e Mecânica da UniRedentor, quanto ao desempenho acadêmico.

Quanto aos Objetivos específicos buscou-se:

- Verificar junto ao registro acadêmico da UniRedentor, quais as disciplinas do ciclo básico das Engenharias apresentam menor índice de aprovação;
- Coletar as notas dos alunos das turmas das disciplinas identificadas com menor índice de aprovação dos últimos seis semestres;
- Investigar informações sobre a vida acadêmica dos alunos das turmas identificadas, com auxílio de um questionário estruturado, buscando identificar se utilizaram o recurso de videoaulas e a periodicidade de uso, além de outras informações;
- Comparar as médias de notas dos alunos que utilizaram e dos que não utilizaramo recurso de videoaulas nas disciplinas em estudo, por meio de técnicas de estatística descritiva e inferencial, concluindo se houve diferença significativa entre os dois grupos estudados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Um estudo aprofundado do impacto da utilização das mídias digitais na modalidade presencial do ensino das engenharias é fundamental. Atualmente, principalmente devido a pandemia do COVID-19, mas também com a expansão damodalidade de ensino a distância e da inclusão dos cursos de engenharia neste novo contexto, no Brasil, tem-se reavaliado as metodologias tradicionalmente utilizadas no ensino de forma geral. Não há mais por que pautar-se por uma aprendizagem obsoleta,desvinculada das grandes e inúmeras transformações pelas quais o mundo vem passando. É imperativa uma mudança de paradigma: do passivo para o reflexivo/interativo/participativo. Sob esse aspecto, Philippe Perrenoud alerta que "apostura e a prática reflexiva não estão no centro da identidade docente e da

formação, apesar do número sempre crescente de Cursos Universitários”. (PERRENOUD, 2002, p.216). Adverte Morin que o ensino superior seria o momento propício para serem tratados “os limites da lógica e das necessidades de uma racionalidade não somente crítica, mas também autocrítica (MORIN, 2003, p. 52).

A Educação Superior, conforme reza a Lei de Diretrizes e Bases da Educação – LDB nº 9.394/96, “suscita desejo permanente de aperfeiçoamento cultural e profissional, de estimular a criação cultural e o desenvolvimento do espírito científico e do pensamento reflexivo”. Para tanto, há de se “Formar diplomados nas diferentes áreas de conhecimentos, aptos para a inserção em setores profissionais e para a participação no desenvolvimento da sociedade brasileira, e colaborar na sua formação contínua” (BRASIL, 1996). Nesse sentido, Sandra Carvalho dos Santos (engenheira química e professora universitária) sublinha a importância da consonância entre os implicados no processo de ensino-aprendizagem. Assim se expressa:

> [...] no tripé formador do processo de ensino-aprendizagem – professor, aluno e instituição –, cabe à última prover a estrutura necessária e, ao mesmo tempo, cobrar os resultados de todos os demais envolvidos, assumindo um papel de liderança na implantação de um processo de melhoria (SANTOS, 2011).

As confirmações deste tipo de estudo podem impactar na forma como os cursos são planejados e desenvolvido. O impacto vai além do planejamento de métodos didáticos, afetando também fatores financeiros. Em se tratando de instituições de ensino privadas podem definir a alocação adequada de recursos em métodos que realmente impactem nos resultados, garantindo competitividade. No caso de instituições públicas define até que ponto recursos financeiros podem ser aplicados neste tipo de mídia garantindo eficiência.

OLIVEIRA *et al.* (2021) apresentaram em seus estudos a legislação e as principais características e potenciais do ensino híbrido, modalidade de ensino que alia tecnologia a encontros presenciais, tão urgente e necessária durante a pandemia do COVID-19, principalmente com a utilização do Ensino remoto, com o uso de videoaulas.

> A regulamentação da proposta de ensino híbrido no Brasil teve início a partir da portaria do Ministério da Educação de n° 2.253 (2001) que, posteriormente foi revogada pela Portaria 4.059 (2004), sendo atualizada pela Portaria 1.134 (2016) e, recentemente, pela Portaria 2.117 de 06 de dezembro de 2019. A portaria 1.134 (2016) é conhecida por “Portaria dos 20%”, pois sugere a utilização de até 20% da carga horária total dos cursos

> de graduação presenciais, na modalidade EaD. Já a Portaria 2.117 (2019) pode ser conhecida por “Portaria dos 40%”, já que regulamenta a utilização de até 40% da carga horária total dos cursos de graduação presenciais, cursadas na modalidade EaD. (OLIVEIRA, et al, 2021)

Assim, faz-se mister identificar até que ponto as mídias digitais, em especial as videoaulas, podem contribuir para o bom desempenho dos alunos, além da forma como devem ser utilizadas pelo estudante para garantir sua eficiência. É preciso sair do comodismo e ousar mais, procurando entender melhor as estratégias realmente educativas de modo que a relação com os saberes seja vivida a despeito de riscos.

3. METODOLOGIA

A pesquisa busca analisar a relevância da utilização de videoaulas pelos estudantes dos cursos Superiores em Engenharias Civil, de Produção, Elétrica, e Mecânica da UniRedentor, quanto ao desempenho acadêmico. Convém destacar que, em 2020, a UniRedentor em Itaperuna-RJ constitui-se no mais completo Campus Universitário do interior do estado do Rio de Janeiro, e é instrumento de vital importânciapara o desenvolvimento de cidades Sul do Espírito Santo, Zona da Mata Mineira e Noroeste Fluminense.

A pesquisa teve início em fevereiro de 2015, com aplicação do questionário em fevereiro de 2016, tendo sua conclusão em abril de 2016, com acompanhamento dos resulta dos até o ano de 2019. Por meio dela buscou-se, rejeitar a hipótese nula (H0) de que os estudantes que utilizam o recurso de videoaulas possuem a média das notas igual à dos estudantes que não utilizam esse recurso.

A hipótese nula (H0) declara serem iguais os parâmetros média populacional dos que utilizam o recurso de videoaula (µs) e média populacional dos que não utilizam o recurso de videoaula (µn). Já a hipótese alternativa (H1) declara serem diferentes os parâmetros média populacional dos que utilizam o recurso de videoaula (µs) e média populacional dos que não utilizam o recurso de videoaula (µn).

Considere-se como unidade de pesquisa o estudante em cada uma das sete disciplinas, dos cursos presenciais de Engenharias da UniRedentor, Sociedade Civil de direito privado, constituída na forma de associação, com fins puramente educacionais, localizada em Itaperuna-RJ. Considera-se como variável dependente a média do estudante em uma determinada disciplina e como variável independente a

condição delequanto à utilização do recurso de videoaula.

Itaperuna é referência regional nos setores educacional, agropecuária, agroindústria e de saúde. Possui tradicionais instituições de Ensino e representa um poloeducacional no Noroeste Fluminense, atende estudantes dos Estados do Rio de Janeiro (onde ela se localiza), Minas Gerais e Espírito Santo (estados fronteiriços). Sua população, em 2010, foi estimada em 95.841 habitantes. Em 2015, a estimativa era de 99.021 habitantes.

Em seus cursos à distância a UniRedentor utiliza como AVA (Ambiente Virtual de Aprendizagem) a plataforma Blackboard. Os mesmos recursos são estendidos para uso também no Ensino Presencial, sendo este o foco do presente estudo.

Por meio deste AVA são utilizadas ferramentas como: fórum de discussões, web-chats, questionários, videoaulas, materiais para download e ainda a possibilidade do recolhimento de atividades executadas por alunos em diversos tipos de mídia (áudio, texto, imagem e etc.). O mesmo ambiente é utilizado como Universidade Corporativa, possibilitando a realização de capacitações e programas de atualização para docentes e demais funcionários da IES quando necessário.

No período de realização da pesquisa, a UniRedentor mantinha cerca de 3.500 estudantes matriculados e além de aproximadamente 250 servidores docentes entre doutores, mestres, especialistas e 200 servidores administrativos. Os graduandos ingressam por meio do vestibular, reingresso ou transferência.

3.1 Classificação e fases da pesquisa

Segundo Gil (2002, p. 17), a pesquisa é um "procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos", podendo ser classificada com base em seus objetivos e procedimentos técnicos. No caso desta pesquisa, o presente trabalho se inicia pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos, resultando na formulação de hipóteses para sua solução, que serão testados pelo processo de inferência dedutiva, configurando assim um método hipotético-dedutivo (MARCONI; LAKATOS, 2003, p. 106). Apoiada nesse método, a pesquisa ora realizada é de natureza quantitativa por utiliza-se de técnicas estatísticas para descrição, análise e inferência.

Quanto aos seus objetivos, pode-se classificar a presente pesquisa como descritiva, pois demonstra o estabelecimento de relações entre variáveis por meio de

técnicas padronizadas de coleta de dados e observação sistemática. Em se tratando de seu traçado operativo (técnicas utilizadas), classifica-se como uma pesquisa ex-post facto, já que os estudos foram realizados após a ocorrência de variações na variável dependente, no curso natural dos eventos; também pelo fato do fenômeno já ter ocorrido no momento de sua observação, não havendo controle sobre a variável independente (GIL, 2002).

Marconi e Lakatos (2003) consideram como fases da execução da pesquisa: a coleta de dados, a elaboração dos dados, sua análise, interpretação e representação. Para a coleta de dados, por exemplo, foram utilizados diversos procedimentos envolvendo coleta documental e análise de conteúdo, bem como formulários eletrônicos.

Após a coleta de dados, eles foram selecionados, codificados e tabulados com o auxílio dos softwares Microsoft Excel 2013 e SPSS Statistics 17.0. Na fase de seleção, buscou-se identificar possíveis inconsistências e incompletude dos dados. O tratamento desses casos foi feito de acordo com o tipo de problema detectado. Dados incompletos foram excluídos e as inconsistências foram excluídas ou justificadas pontualmente como pode ser percebido no capítulo que trata da análise de dados.

Na fase de codificação, os dados foram categorizados, sendo a eles atribuído um código de identificação, transformando (quando necessário) valores qualitativos em quantitativos. Após sua codificação, os dados foram tabulados mecanicamente possibilitando o resumo e a aplicação dos testes necessários à confirmação das hipóteses.

3.2 Plano amostral

Durante a pesquisa, fez-se necessário o levantamento de dados de fontes distintas. Uma delas proveio de documentos de registro acadêmico, mais especificamente dos boletins de notas dos estudantes para as sete disciplinas analisadas, em um horizonte temporal de 6 períodos, atendendo a prerrogativas e limitações da instituição de ensino. Em paralelo, foi necessário obter diretamente dos estudantes a informação de ter ou não utilizado recursos de videoaula. Tal informação foi mais tarde cruzada com os dados dos documentos da instituição, gerando a fonte necessária ao estudo.

A informação advinda diretamente do estudante necessitava ser submetida a

técnicas de amostragem específicas para o estudo. Entretanto, dadas as condições estabelecidas pela instituição, como tempo disponível dos profissionais para levantamento de informações e limitações de diversas ordens quanto ao fornecimento de dados dos estudantes (clientes), tornou o processo de amostragem não probabilístico. Desta forma, tornou-se praticamente impossível um controle mais rigoroso sobre o processo de amostragem.

Outro fator que contribuiu negativamente para o processo de amostragem foi o fator autosseleção. Apesar de existir uma lista com o nome de todos os estudantes da população estudada, buscou-se garantir o maior número possível de respondentes, fazendo envio do formulário eletrônico a todos os alunos dessa lista. Caso fosse feita uma amostragem aleatória simples, haveria a possibilidade de uma redução drástica no número de respostas, dado que os selecionados que não respondessem ao formulário teriam que ser substituídos por outro elemento de forma aleatória. Considerando que a janela de tempo ideal (imediatamente após as férias do último período pesquisado) era pequena, esse processo poderia levar o estudo a uma escassez de dados. Desta forma, optou-se pelo envio do formulário a todos os estudantes da população. Entende-se que este processo levou a uma situação de não aleatoriedade dos estudantes, limitando a análise dos dados. Mesmo assim, os testes característicos de uma amostra probabilísticas foram mantidos (MARCONI; LAKATOS, 2003, p. 224).

Assim, pode-se considerar a amostra selecionada para a pesquisa como não probabilística por conveniência dada à dificuldade para se obter as respostas, que vieram da disponibilidade dos estudantes responderem o questionário. Apesar do método escolhido para a amostragem limitar a inferência dos resultados, longe está de ser considerado inválido ou insignificante em termos de análise. Apenas deve-se considerar suas limitações, sendo em alguns casos a melhor opção aplicável (STEVENSON, 2001,p 167; MALHOTRA, 2006, p. 325).

A amostra foi composta dos alunos dos cursos de graduação em engenharias Civil, de Produção, Elétrica e Mecânica, da modalidade presencial, matriculados do primeiro ao 5° semestres, no período de 2013 a 2015, nas disciplinas de Cálculo 0, Geometria Descritiva, Álgebra Linear, Probabilidade e Estatística, Mecânica Geral, Equações Diferenciais e Resistência dos Materiais. Disciplinas nas quais foram observadas as menores médias de notas e o maior número de dependentes.

O questionário foi enviado por correio eletrônico, no mês de fevereiro de 2016,

a 1417 estudantes; destes, 323 responderam à pesquisa, obtendo-se 526 casos.

Para fazer parte da pesquisa os estudantes precisavam:

- Ter cursado umas das sete disciplinas descritas acima, do ciclo básico (do primeiro ao 5° semestres) dos cursos de Engenharias no período de 2013 a 2015;
- Estar com cadastro de e-mail atualizado para receber o questionário e ter acesso à internet;
- Ler o termo de consentimento livre e esclarecido e concordar com as condições do mesmo, para habilitar o preenchimento do formulário;
- Responder as questões e enviar o formulário em meio eletrônico.

Os critérios de exclusão foram dados por:

- O estudante selecionado não ter respondido o questionário por ter endereço de e-mail inválido, logo por não poder ter sido contatado;
- Não querer participar, não respondendo o questionário enviado.
- Não ter tido acesso à internet.

A coleta de dados consistiu, primeiramente, em verificar, junto ao departamento de registro acadêmico da UniRedentor, quais disciplinas do ciclo básico das Engenharias apresentaram menor índice de aprovação, como forma de selecionar as que comporiam aamostra. Isso foi feito por meio do índice de retenção dos alunos nas turmas, observando-se que as disciplinas de Cálculo 0 (1° semestre), Geometria Descritiva (1° semestre somente da Engenharia Civil), Álgebra Linear e Probabilidade Estatística (ambas do 2° semestres), Mecânica Geral (3° semestre), Equações diferenciais (4° semestre) e resistência dos Materiais I (5° semestre) foram as disciplinas que apresentavam um maior número de dependentes.

A pesquisa foi submetida a Plataforma Brasil e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro Universitário Redentor, sob o nº CAAE: 54520316.8.0000.5648.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionadas sete disciplinas: Cálculo 0, Geometria Descritiva, Álgebra Linear, Probabilidade e Estatística, Mecânica Geral, Equações Diferenciais e Resistênciados Materiais, com um total de 1417 alunos matriculados nesses seis

semestres (2013-1 a 2015-2). Para estes alunos foi enviado o questionário, por meio eletrônico, ficando disponível durante 10 dias para respostas. Ao término desse período, 323 alunos aderiramà pesquisa, respondendo a todas as perguntas feitas, resultando no total de 526 dados de notas.

Salienta-se que as turmas para todas essas disciplinas são compartilhadas, ou seja, existem alunos dos quatros cursos em questão, com exceção de Geometria descritiva queexiste somente na grade curricular dos cursos de Engenharia Civil e Mecânica.

Dos 323 estudantes, 126 eram do sexo feminino, o que corresponde a 39% e 197 eram do sexo masculino, correspondendo a 61% do total de estudantes. Observa-se que a maioria dos estudantes é homem, característica ainda observada nos cursos em Engenharias. 230 tinham idade entre 18 e 24 anos, correspondendo a 71%, seguidos de 75 alunos com idade entre 25 a 32 anos, correspondendo a 23% e 18 alunos com idade entre 33 e 55 anos, compondo os 6% restantes. Isto comprova a faixa etária predominante dos atuais universitários (idade máxima de 35 anos, aproximadamente), caracterizados como Geração Internet (GI) – ou Geração Y (GY) – em razão de estar constantemente conectada online, fazendo uso cotidiano das TICs nas atividades acadêmicas (GROSSI etal., 2014).

O gráfico 1 apresenta a quantidade de respostas sim e não entre os 323 estudantes que participaram da pesquisa, em relação aos estudantes terem cursado ou não as disciplinas.

Gráfico 1 – Quantidade total de estudantes entre os 323 participantes da pesquisa que informaram ter cursado ou não as disciplinas.

Fonte: autoria própria (2016).

O gráfico 2 apresenta o percentual de estudantes que informaram ter cursado as disciplinas e apresentaram nota. Lembra-se que as notas foram obtidas a partir do departamento de registro acadêmico da UniRedentor para as turmas com maior número de alunos, no período de 2013-1 a 2015-2, referente às disciplinas selecionadas.

A disciplina Geometria Descritiva apresentou um percentual maior de alunos com nota, devido ao fato de ela não fazer parte do currículo das Engenharias de Produção e Elétrica, fazendo com que os alunos dessa disciplina se concentrassem em uma mesma turma e se tivesse um número maior de dados disponível, já que a amostra foi obtida das turmas com maior número de matrículas.

A tabela 1 complementa estas informações apresentando os dados completos no período de 2013-1 a 2015-2. Em sua coluna indicadora, apresenta as sete disciplinas em questão com a indicação período (semestre) cursado. Na segunda e terceira colunas, estão as respostas dos alunos sobre o fato de terem ou não cursado cada uma das disciplinas. As colunas seguintes mostram o número de alunos que cursaram as disciplinas nos períodos de 2013-1 a 2015-2. As duas últimas colunas mostram, respectivamente, o número de casos dos alunos que cursaram cada uma das disciplinas e a porcentagem em relação ao número total deles (323).

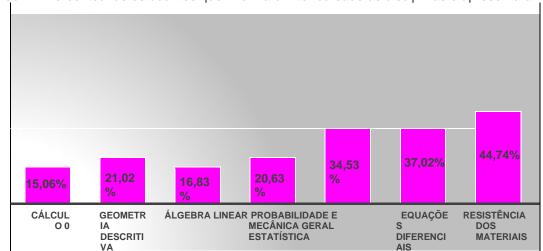



Gráfico 2 – Percentual de estudantes que informaram ter cursado as disciplinas e apresentaram nota.

Fonte: autoria própria (2016)

Tabela 1 – Número de casos obtidos a partir dos estudantes que responderam a pesquisa

Disciplinas Cursadas por Período										
Disciplina	**Cursaram**		**Períodos**						**Quantidade de casos do estudo**	
	Não	**Sim**	**2013-1**	**2013-2**	**2014-1**	**2014-2**	**2015-1**	**2015-2**	**Abs.**	**%**
Cálculo 0 [(a)]	11	312	20	2	5	6	10	4	47	15,06%
Geometria Descritiva [(a)]	28	295	14	8	10	6	15	9	62	21,02%
Álgebra Linear [(b)]	8	315	0	20	8	17	5	3	53	16,83%
Probab. e Estatística [(b)]	8	315	0	19	13	7	19	7	65	20,63%
Mecânica Geral [(c)]	16	307	9	11	17	19	22	28	106	34,53%
Equações Diferenciais [(d)]	34	289	4	15	17	30	8	33	107	37,02%
Resistência Materiais [(e)]	57	266	17	20	31	21	19	11	119	44,74%
Todas			**64**	**95**	**101**	**106**	**98**	**95**	**559**[11]	

Nota: Disciplinas do: (a) 1° período, (b) 2° período, (c) 3° período, (d) 4° período e (e) 5° período.
Fonte: autoria própria (2016).

A Startup Me Passa aí tem disponibilizados 132 vídeos para a disciplina de Resistência dos Materiais, por exemplo. Os vídeos são de curta duração, gravados por discentes a partir de listas de exercícios dos docentes, não apresentando enfoque teórico, apenas trabalham com a resolução de exercícios da(s) lista(s) e problemas de Engenhariada disciplina. Como explica Lévy (1999, p. 156), o professor tem papel fundamental na construção desse conhecimento:

> Mas o essencial se encontra em um novo estilo de pedagogia, que favorece ao mesmo tempo as aprendizagens personalizadas e a aprendizagem coletiva em rede. Nesse contexto, o professor é incentivado a tornar-se um animador da inteligência coletiva de seus grupos de alunos em vez de um fornecedor direto de conhecimentos.

Para muitos ingressantes dos cursos de Engenharia Civil e Mecânica, Geometria Descritiva é vista como uma disciplina incompreensível (fator que se agrava com a dificuldade de encontrar fontes mais esclarecedoras e menos complicadas). Com efeito, os conteúdos dessa disciplina precisam ser revistos muitas vezes pelos estudantes para facilitar o processamento de informações e a combinação de conhecimentos adequado (BAZZO; PEREIRA, 2006).

Outras disciplinas como Cálculo 0 e Álgebra Linear, com enfoque matemático de aplicação de fórmulas, podem ter seus resultados baseados nessa mesma linha de pensamento. Há uma discrepância em relação a como a disciplina é apresentada em sala de aula e a maneira que a aprendizagem efetiva é avaliada, baseada nos problemas de engenharia, em que elas têm aplicação. Lévy (1999, p. 175) explica:

> Usar todas as novas tecnologias na educação e na formação sem mudar em nada os mecanismos de validação das aprendizagens seria o equivalente a inchar os músculos da instituição escolar bloqueando, ao mesmo tempo, o desenvolvimento de seus sentidos e de seu cérebro.

Como verificado por Molina e Azevedo (2014) e Figueiredo *et al.* (2007), a disciplina Cálculo tem sido a responsável por grande parte de reprovação de graduandos nos cursos de Engenharia, possivelmente, em razão da bagagem precária com que ingressam nas IES.

A disciplina de Cálculo é o pilar para o trabalho do engenheiro por possibilitar o equacionamento e a resolução de problemas pertinentes às taxas de variação e modelagem que se ligam aos projetos de Engenharia. Esse fato gera preocupação com a pedagogia e metodologia de ensino da referida disciplina que tanto tem afetado até mesmo ingressantes de melhor performance. Não é fácil ao professor ser o educador proclamado por Freire (1996, p. 14) quando afirma que a tarefa docente não é "apenas ensinar os conteúdos, mas também ensinar a pensar certo". Nesta disciplina o desafio permanece em aberto, ainda que alguns módicos avanços, mediante recursos tecnológicos, venham surgindo.

A tabela 2 apresenta o resumo com a média das notas, desvio padrão e coeficiente de variação das notas dos alunos que utilizaram ou não o recurso das videoaulas por disciplina e no total.

Tabela 2 - Estimativa das notas dos estudantes que disseram usar ou não o recurso da videoaula

Notas dos Estudantes								
	Quant		**Sim**			**Não**		
Disciplina	**Sim**	**Não**	**Média**	**Desvio Padrão**	**Coeficiente de Variação**	**Média**	**Desvio Padrão**	**Coeficiente de Variação**
Cálculo 0 [(a)]	13	32	6,33	1,63	0,26	6,28	2,49	0,40
Geometria Descritiva [(a)]	30	27	7,24	1,95	0,27	6,85	3,21	0,47
Álgebra Linear [(b)]	22	31	7,65	2,14	0,28	7,26	2,06	0,28
Probabidade e Estatística [(b)]	27	36	6,96	1,92	0,28	7,07	2,51	0,36
Mecânica Geral [(c)]	47	46	6,77	2,52	0,37	7,63	2,71	0,36
Equações Diferenciais [(d)]	47	56	7,48	2,28	0,30	7,13	2,63	0,37
Resistência dos Materiais [(e)]	63	49	5,51	2,31	0,42	5,98	2,58	0,43
Todas	**249**	**277**	**6,72**	**2,33**	**0,35**	**6,89**	**2,64**	**0,38**

Nota: Disciplinas do: [(a)] 1° período, [(b)] 2° período, [(c)] 3° período, [(d)] 4° período e [(e)] 5° período.
Fonte: autoria própria (2016).

O coeficiente de variação consiste em uma medida de dispersão relativa que é útil na comparação de dois ou mais grupos que possuem médias diferentes. Foram encontrados valores de médios a altos para os coeficientes de variação, já que as notas obtidas pelos estudantes variaram entre zero e dez, mas há também homogeneidade entre os resultados das disciplinas. Por sua vez, dentro da mesma disciplina, as notas dos alunos são heterogêneas, o que justifica um desvio padrão também alto. Barbosa, Mezzono e Loder (2011, p. 5), ao coletarem dados de alunos, verificaram a heterogeneidade entre eles e os que apresentam mais dificuldades carecem de maior interesse dos professores.

Dando continuidade à análise, na segunda etapa, foram realizados testes estatísticos, pretendendo-se rejeitar a hipótese nula (H0) de que os estudantes que utilizam o recurso de videoaulas possuem a média das notas igual à dos estudantes que não utilizam esse recurso. Como mencionado anteriormente, a hipótese nula (H0) declara serem iguais os parâmetros média populacional dos que utilizam o recurso de videoaula (μs) e média populacional dos que não utilizam o recurso de videoaula (μN). Já a hipótese alternativa (H1), declara serem diferentes os parâmetros média populacional dos que utilizam o recurso de videoaula (μs) e média populacional dos que não utilizam o recurso de videoaula (μN).

Os testes foram todos realizados com nível de significância 5% o que corresponde a 95% de probabilidade de certeza. Para esta condição de teste de diferença de médias, tem-se tabelado $Z_{crítico}$ = 1,96, para teste bicaudal. Assim:

H_0: $\mu_S - \mu_N = 0$ (1)

H_1: $\mu_S - \mu_N \neq 0$ (2)

e, conforme dados da tabela 4:

Média das notas de todos os estudantes que utilizaram as videoaulas: 6,72 Média das notas de todos os estudantes que não utilizaram as videoaulas: 6,89

Desvio padrão das notas de todos os estudantes que utilizaram as videoaulas: 2,33

Desvio padrão das notas de todos os estudantes que utilizaram as videoaulas: 2,64

Número notas de todos os estudantes que utilizaram as videoaulas: 249

Número notas de todos os estudantes que não utilizaram as videoaulas: 277 Calculando o Z amostral para verificar as hipóteses em questão, tem-se:

$$Z_{calc} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - \mu_{H0}}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_1^2}{n_2}}} = \frac{(6{,}72 - 6{,}89) - 0}{\sqrt{\frac{2{,}33^2}{249} + \frac{2{,}64^2}{277}}} = \frac{-0{,}17}{\sqrt{0{,}046964}} = -0{,}78 \quad (3)$$

Verifica -se que, com 95% de confiança, não se pode rejeitar a hipótese nula. Assim, com margem de erro de 5% é possível que a média das notas dos estudantes que utilizaram e aqueles que não utilizaram o recurso de videoaula sejam iguais. Segundo ascondições do teste, se não se pode rejeitar a possibilidade de que as médias sejam iguais, também não se aceita que as médias sejam diferentes. Os mesmos resultados foram encontrados em testes realizados no software Excel, onde o Z da amostra foi de -0,8 e nosoftware SPSS.

O mesmo teste Z de duas amostras para médias foi realizado individualmente para cada uma das 7 disciplinas e os resultados encontrados foram os seguintes: Cálculo 0 com Z=0,076; Geometria descritiva com Z=0,55; Álgebra Linear com Z=0,66; Probabilidade e Estatística com Z=-0,21; Mecânica Geral com Z=-1,57; Equações diferenciais com Z=0,73; e, Resistência dos Materiais com Z=-1,00.

Em todos os casos, sem exceção, não ficou evidente a diferença das médias das notas dos alunos que utilizaram ou não o recurso da videoaula. Dessa forma, pode-se concluir que não há diferença significativa entre as médias do que utilizaram e não utilizaram os recursos de videoaula, com nível de significância de 5%.

Pensando-se como Vygotsky (2008, p. 52), observa-se que os estímulos

artificiais “desempenham um papel auxiliar que permite aos seres humanos dominar seu próprio comportamento, primeiro através de meios externos e posteriormente através de operações internas mais complexas”. No tocante às “funções cognitivas não requer que oexperimentador forneça aos sujeitos os meios já prontos, externos ou artificiais, para que eles possam completar com sucesso uma tarefa dada.” Também é valido que o docente, em vez de fornecer aos discentes meios artificiais, aguarde que eles, “espontaneamente, apliquem algum método auxiliar ou símbolo novo” e incorporem “em suas operações. Não importa a área específica em que aplicamos essa abordagem”. Há muitos alunos queesperam da nova ferramenta o “milagre” da aprendizagem, não recorrendo a quaisquer outros meios para ajudá-la em sua realização. Talvez isso justifique o resultado ora apresentado.

Foi feita uma análise com as informações complementares respondidas no questionário. A tabela 3 apresenta os dados de média e desvio padrão para os alunos que utilizaram ou não o recurso da videoaula, considerando a residência no município sede da UniRedentor.

Tabela 3 – Média e desvio para estudantes residentes e não residentes em Itaperuna-RJ

Uso do recurso de videoaula				
	Sim		**Não**	
Reside em Itaperuna	**Média**	**Desvio Padrão**	**Média**	**Desvio Padrão**
Sim	6,95	2,22	6,77	2,58
Não	6,56	2,39	6,98	2,69

Fonte: Autoria própria (2016).

Realizando um Teste Z para as médias de duas amostras, na comparação entre residir ou não na mesma cidade em que faz o curso e assistir ou não videoaula, foram encontrados os seguintes resultados:

Entre os que assistiram à videoaula e que residem ou não em Itaperuna, detectou-se que não há diferença significativa. Isso quer dizer que não há diferença entre as médias das notas dos estudantes que assistiram à videoaula e moram no município onde a Faculdade está instalada e os que assistiram à videoaula e não residemno município sede da Faculdade.

Apesar dos diversos testes realizados que comprovaram não haver diferença entre o grupo dos que assistiram à videoaula e dos que não utilizaram esse recurso, houve um caso em que a diferença das médias foi significativa. Este fato foi detectado quando se compararam as médias dos que exerciam ou não algum tipo de atividade

profissional. Aliás, é sempre bom lembrar Vygotsky (2003, p. 56) que qualquer situação de aprendizado “tem sempre uma história prévia”. E isso pode explicar qualitativamente esse resultado quantitativo da pesquisa.

Em se tratando dos que assistiram à videoaula, não foi detectada diferença significativa entre as médias dos que trabalham e dos que não trabalham. Já para os que não assistiram à videoaula, ocorreu o contrário: foi detectada uma diferença significativa entre as médias dos que trabalham e dos que não trabalham.

Para o grupo dos que não assistiram á videoaula, foi detectada diferença entre os que exercem algum tipo de atividade profissional e os que não exercem atividade profissional fazendo a graduação em uma das Engenharias.

Assim, pode-se dizer que, dentre os alunos que utilizaram o recurso de videoaula, não foi detectada diferença entre os que trabalhavam e os que não trabalhavam, mas para aqueles que não utilizavam o recurso, a média de nota dos que não trabalhavam foi significativamente maior. Com certeza, a dedicação aos estudos faz toda a diferença. Restringir-se a seguir unicamente aos comandos do professor é uma atitude que reflete no resultado modesto e até insuficiente da aprendizagem.

Observa-se que, independente do uso da videoaula, as médias das notas dos que não trabalham são maiores do que aqueles que trabalham. Bazzo e Pereira (2006, p. 24) e Santos (2015) já alertaram sobre essa questão, pois, para os autores, um ensino eficaz carece de dedicação exclusiva, isto é, de tempo.

Acrescenta-se ainda, que, como pode ser observado, os estudantes que disseram não utilizar o recurso da videoaula apresentam médias maiores do que os que utilizaram videoaula. Aqueles que não trabalham também tem médias superiores aos que trabalham. Por certo, com mais disponibilidade de tempo, os alunos podem lançar mão de diversos recursos no seu aprendizado. O conjunto de tudo isso, ou seja, o empenho, reflete-se em melhores notas.

Isso pode ser explicado se for considerado o fato de que assistir à videoaula faz com que as diferenças entre os que trabalham e não trabalham se igualem. Assim, é perfeitamente plausível considerar que quando um estudante que trabalha assiste videoaula, ele preenche as lacunas do conhecimento que ficaram após a aula presencial. Este fato não o torna melhor do que aqueles que assistem videoaula e não trabalham, mas faz diminuir as diferenças das notas. Por este motivo, quando um aluno trabalha e não assiste videoaula sua média se torna significativamente menor

do que as dos que não trabalham e não assistem videoaula. Esse recurso audiovisual deve “apresentar o conteúdo de forma didática e ao mesmo tempo atrativa” para aumentarem “as chances de o aluno assistir à videoaula” (OLIVEIRA; STADLER, 2014, p. 4).

Pode-se considerar que a videoaula é o substituto virtual da aula presencial, porém com uma vantagem: alunos que possuem dificuldade de acompanhamento da exposição oral do professor em uma aula presencial, podem na videoaula buscar um retorno imediato ao ponto que desejar. Conforme Sartori e Ramos (2016), tais vídeos com foco específico nos interesses da turma, na medida certa de suas necessidades, auxiliam e facilitam “a compreensão do assunto abordado”. Com o uso de videoaula, estudantes que exercem alguma atividade profissional diminuem a diferença de suas notas em relação aos que não exercem atividade profissional. Esse fato é comprovado, conforme tabela 4, quando são comparadas as médias dos que não assistem videoaula etrabalham com as médias dos que não assistem videoaula e não trabalham. O fato de não assistirem videoaula torna a diferença entre os que trabalham e os que não trabalham, significativa.

Tabela 4 – Média e desvio para estudantes que exerciam ou não atividade profissional

Uso do recurso de videoaula				
	Sim		**Não**	
Exerce alguma atividade profissional	**Média**	**Desvio Padrão**	**Média**	**Desvio Padrão**
Sim	6,56	2,46	6,61	2,81
Não	7,04	2,00	7,34	2,27

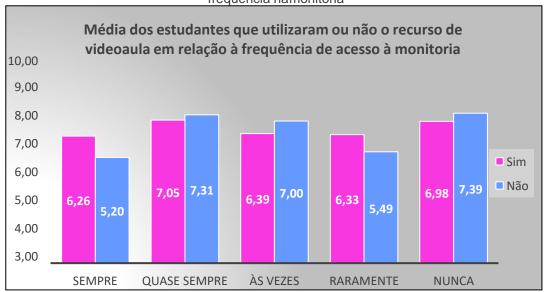
Fonte: Autoria própria (2016).

A tabela 5 e o gráfico 3 mostram que a média dos estudantes que disseram ter assistido sempre as aulas de monitorias e utilizaram as videoaulas foi de 6,26, enquanto que aqueles estudantes que disseram nunca ter participado das monitorias nem ter assistido videoaulas foi de 7,39. Os alunos que disseram quase sempre assistir às monitorias e usar o recurso das videoaulas têm a maior média de notas. Por meio de uma análise qualitativa supõem-se que estes alunos são aqueles que buscam recursos adicionais para melhorar seu desempenho conforme com sua necessidade.

Tabela 5 – Média e desvio em relação a frequência nas monitorias

Uso do recurso de videoaula				
	Sim		Não	
Frequências às Monitorias	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Sempre	6,26	3,19	5,20	0,00
Quase sempre	7,05	1,91	7,31	1,51
Às vezes	6,39	1,85	7,00	1,97
Raramente	6,33	2,39	5,49	2,97
Nunca	6,98	2,47	7,39	2,54

Fonte: Autoria própria (2016)

Gráfico 3 – Média das notas dos estudantes que utilizaram ou não os recursos de videoaula e frequência namonitoria

Fonte: Autoria própria (2016)

Assim, entende-se que o estudante que tem melhor desempenho não necessita destes recursos. Daí se pautar, consoante Lobo Neto, 2006, p. 414), por uma educação aberta, plural e dialógica, negociando decisões coletivas em face da complexidade humana. E ainda, conforme Vygotsky (2008, p.45) “embora dois tipos de atividades possam ter a mesma manifestação externa, a sua natureza pode diferir profundamente, seja quanto à sua origem ou à sua essência”.

Por fim, a tabela 6 fornece os valores de média e desvio padrão para os estudantes que utilizaram ou não o recurso da videoaula, considerando a faixa de horas semanais de estudo fora sala de aula; enquanto os gráficos 4 e 5 indicam respectivamente o número de estudantes por faixa de horas de estudo semanal extraclasse dos grupos que assistiram e dos que não assistiram à videoaula e a média de notas por faixa de estudo.

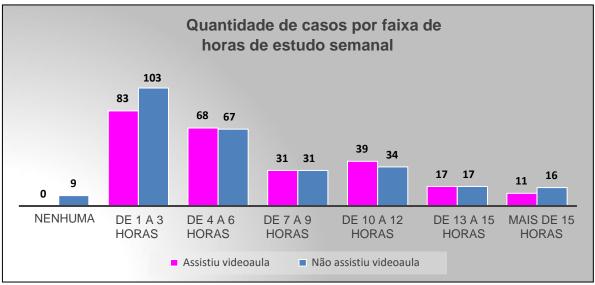
Tabela 6 – Média e desvio padrão dos estudantes que utilizaram ou não videoaula em relação ao númerode horas semanais dedicadas ao estudo

Uso do recurso de videoaula				
	Sim		**Não**	
Horas de estudo semanal extraclasse	**Média**	**Desvio Padrão**	**Média**	**Desvio Padrão**
Nenhuma	-	-	4,81	4,27
de 1 a 3 horas	6,32	2,37	6,53	2,63
de 4 a 6 horas	6,29	2,42	6,83	2,56
de 7 a 9 horas	6,88	2,26	7,15	2,13
de 10 a 12 horas	7,22	2,22	7,45	2,49
de 13 a 15 horas	7,59	1,72	7,89	3,24
mais de 15 horas	8,71	0,95	7,89	1,42

Fonte: Autoria própria (2016)

Gráfico 4 – Número de casos que utilizaram ou não os recursos de videoaula e frequência na monitoria

Fonte: Autoria própria (2016).

Gráfico 5 – Média de nota dos estudantes que utilizaram ou não o recurso de videoaula em relação à quantidade de horas de estudo

Média de nota dos que utilizaram e dos que não utilizaram o recurso de videoaula em relação à quantidade de horas de estudo

	NENHUMA	DE 1 A 3 HORAS	DE 4 A 6 HORAS	DE 7 A 9 HORAS	DE 10 A 12 HORAS	DE 13 A 15 HORAS	MAIS DE 15 HORAS
Sim	0,00	6,32	6,29	6,88	7,22	7,59	8,71
Não	4,81	6,53	6,83	7,15	7,45	7,89	7,89

Fonte: Autoria própria (2016).

Observa-se que, dentre os estudantes que assistiram à videoaula, nenhum informou não estudar após as aulas. Este dado consiste no fato de que se o aluno assistia à videoaula, o tempo utilizado nesta atividade foi considerado por ele como hora de estudo. A videoaula, nesse caso, funcionou como aula, substituição desta, o que é muito pouco para o aprendizado de uma disciplina. O estudo adquire consistência principalmente quando conta com a disponibilidade do aluno (PICCINI; DENARDI; FOCKING, 2011, p. 27).

É percebido também, que o número de casos possui uma relação inversa com o número de horas de estudo extraclasse. De 526 casos (cada caso representa a nota de um aluno específico em uma disciplina, cursada em um determinado período) foram detectados 186 (35,36%) que estudam de 1 a 3 horas; enquanto apenas 27 (5,13%) estudaram mais de 15 horas por semana. Quanto maior o número de horas de estudo maiora média de notas – tanto para os que assistiram à videoaula quanto para os que a ela não assistiram. Entretanto, a diferença entre os que assistiram e os que não assistiram à videoaula torna-se maior à medida que o número de horas de estudo extracurricular aumenta. Mesmo assim, a partir de testes Z e t, não foi possível afirmar que essa diferençaseja significativa.

Desta forma, observa-se que testes diferentes (distribuição normal e distribuição t) propiciaram os mesmos resultados, ou seja, rejeição da hipótese nula.

Após analisar os dados dos grupos de estudantes que fizeram uso ou não do

recurso de vídeo aula, em relação a diversos fatores informados por eles e cruzados com suas notas, observa-se que a videoaula pode melhorar o desempenho dos alunos, mas para isso deverá ser levada em conta a maneira como essas videoaulas são apresentadas a esses alunos, objetivando uma aprendizagem efetiva, e consequentemente melhores resultados nas notas. Como elucida Vygotsky: "A criação de novos métodos, adequados às novas maneiras de se colocar os problemas, requer muito mais do que uma simples modificaçãodos métodos previamente aceitos" (VYGOTSKY, 2008, p. 41-42).

5. CONCLUSÃO

Pode-se, enfim, considerar que a videoaula é o substituto virtual da aula presencial, porém com uma vantagem: alunos que possuem dificuldade de acompanhamento da exposição oral do professor em uma aula presencial, podem na videoaula buscar um retorno imediato ao ponto que desejar. O mesmo ocorre com aqueles que perderam a aula e/ou necessitam conciliar estudo/trabalho, propiciando a todos produção do conhecimento. A vídeo aula pode impactar na aprendizagem significativa, que reflete nas notas dos estudantes, diminuindo a reprovação e retenção em disciplinas e, consequentemente, na permanência destes alunos na IES.

É importante salientar que as videoaulas são recursos do EaD que vêm sendo utilizadas como ferramenta complementar na metodologia das aulas do ensino presencial, com o objetivo de aumentar a aprendizagem significativa dos alunos de Engenharia, foco da pesquisa. Com isso, além da diminuição da evasão nas IES, a ferramenta pode contribuir para a formação de um profissional que esteja mais apto a resolução de problemas – característica dos Engenheiros –, associado ao uso de novas tecnologias digitais. Além do mais, durante a pandemia do COVID-19, se constituiu em um dos meios mais importantes e utilizados para continuidade dos estudos nas mais diferentes instituições de ensino.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Paola Vargas; MEZZOMO, Felipe; LODER, Liane Ludwig. Motivos de evasão no curso de Engenharia Elétrica: realidade e perspectivas. In: **XXXIX CongressoNacional Brasileiro em Engenharia**. Cobenge. Blumenal-SC, 3 a 6 out. 2011. Disponível em: www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sessoestec/art1952.pdf. Acesso em: 02 abr. 2016.

BARRERE, Eduardo; SCORTEGAGNA, Liamara; LÉLIS, Claudio Augusto Silveira. Produção de Videoaulas para o Serviço EDAD da RNP. Departamento de Ciência da Computação-UFJF. In: **22º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. Informática na Educação para a democratização do conhecimento. Aracaju-SE, 21 a 25 nov. 2011. Disponível em: http://www.br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/1596/136. Acesso em 08 abr. 2016.

BAZZO, Walter António; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. **Introdução à engenharia**: conceitos, ferramentas e comportamentos. Florianópolis: UFSC, 2006.

BRASIL. **Lei n. 9394/96** de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases daEducação Nacional. Diário oficial da União, Brasília, 22 de dezembro de 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/9394.htm. Acesso em 27 dez.2020.

BRASIL. **Portaria nº 4.059**, de 10 de dezembro de 2004 (DOU de 13/12/2004, seção 1, p. 34). Disponível em: http://portal.mec.gov.br/sesu/arquivos/pdf/nova/acs_portaria4059.pdf. Acesso em: 05 abr. 2016.

BRASIL. Decreto nº 9.057, de 25 de maio de 2017. **Regulamenta o Art.80 da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D9057.htm. Acesso em 27 dez. 2020.

BRASIL. **Portaria Normativa nº 11, de 20 de junho de 2017, estabelece normas parao credenciamento de instituições e a oferta de cursos superiores a distância, emconformidade com o Decreto nº 9.057, de 25 de maio de 2017**. MEC. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=66441- pn-n11-2017-regulamentacao-ead-republicada-pdf&category_slug=junho-2017-pdf&Itemid=30192. Acesso em 27 dez. 2020.

BRASIL. **Portaria Normativa nº 2.117, de 6 de dezembro de 2019, dispõe sobre a oferta de carga horária na modalidade de Ensino a Distância - EaD em cursos de graduação presenciais ofertados por Instituições de Educação Superior – IES pertencentes ao Sistema Federal de Ensino.** MEC. Disponível em: http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-2.117-de-6-de-dezembro-de-2019-232670913. Acesso em 27 dez. 2020.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da esperança**. 13. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra,

2006.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. SãoPaulo: Paz e terra, 1996.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos e pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GROSSI, Márcia Gorett Ribeiro et al. Geração Internet, quem são e para que vieram: um estudo de caso. In: **Revista Iberoamericana de Ciência, Tecnologia e Sociedade**, v. 9,n. 26, p. 39-54, 2014a.

GROSSI, Márcia Gorett Ribeiro et al. **A utilização das tecnologias digitais de informação e comunicação nas redes sociais pelos universitários brasileiros**. In:Texto Digital, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 4-23, jan./jul. 2014b. Disponível em: file:///C:/Users/Windows/Downloads/33829-115543-1-PB.pdf. Acesso em: 25 jan. 2016.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 1999.

LOBO Neto, **Francisco José da Silveira. Regulamentação da Educação a Distância: caminhos e descaminhos**. In Silva, Marco (org.). **Educação online**. São Paulo: Loyola,2006.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 4. ed.Porto Alegre: Bookman, 2006.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MIZUKAMI, Maria das Graças Nicoletti. **Ensino:** as abordagens do processo. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 2003.

MOLINA, Maurício Leonardo Aguilar; AZEVEDO Junior, Waldyr. Formação em engenharia civil: desafios para o currículo na UFJF. In: **Engenharia**: múltiplos saberes e atuações. Cobenge, 16 a 19 set. 2014, Juiz de Fora-MG. Disponível em: http://www.abenge.org.br/cobenge-2014/Artigos/129281.pdf. Acesso em: 01 abr. 2016.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem-feita**: repensar a reforma, reformar o pensamento. Tradução de Eloá Jacobina. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

OLIVEIRA, Muriel Batista de; SILVA, Luiz Claudio Tavares; CANAZARO, Joelmir Vinhoza; *et al.* O ensino híbrido no Brasil após pandemia do covid 19. In: **Revista Brazilian Journal of Development**. V. 7, n 1 p.918-932. São José dos Pinhais, 2021.

OLIVEIRA, Vanderlí Fava de et al. Um estudo sobre a expansão da formação em Engenharia no Brasil. 31p. In: **Revista de Ensino de Engenharia da ABENGE**. Edição Especial comemorativa dos 40 anos da entidade UFJF. Rio de Janeiro:

UFRJ, 2013.

OLIVEIRA, Alexandre; STADLER, Pâmella de Carvalho. **Videoaulas**: uma forma de contextualizar a teoria na prática. Universidade Positivo Online. Curitiba-PR, maio 2014. Disponível em: http://www.abed.org.br/hotsite/20-ciaed/pt/anais/pdf/352.pdf. Acesso em: 08 abr. 2016.

PEREIRA, Marcus Vinicius; BARROS, Susana de Souza. **Produção de vídeos por estudantes como uma nova estratégia de trabalho experimental no laboratório de física no ensino médio**. Disponível em: http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienpec/pdfs/1185.pdf. Acesso em: 08 abr. 2016.

PERRENOUD, Philippe. **A prática reflexiva no ofício do professor**: profissionalizaçãoe razão pedagógica. Porto Alegre: Artmed, 2002.

SANTOS, Italo Coutinho. **O uso de uma plataforma educativa como ferramenta de suporte ao aluno de engenharia**. Monografia de Conclusão do Curso em Engenharia deProdução. Faculdade Redentor, 2015.

SANTOS, Sandra Carvalho dos. O processo de ensino-aprendizagem e a relação professor/aluno: aplicação dos “sete princípios para a boa prática na educação superior”.In: **Caderno de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 8, n. 1, jan./mar. 2011.

SARTORI, Adriel Fernandes; RAMOS, Eugenio Maria de França. Ferramentas audiovisuais como instrumento no ensino de física. In: **Centro de Educação Continuada em Educação Matemática, Científica e Ambiental**. (CECEMCA) – UNESP. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_ferramentasaudiovisuaisc.trabalho.pdf. Acesso em: 08 abr. 2016.

STEVENSON, William J. **Estatística Aplicada à Administração**. São Paulo: Harbra, 2001.

VYGOTSKY, Lev S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

YONEZAWA, Wilson Massashiro. O papel da Tecnologia da Informação na EaD. Cap. I, p. 17-32. In: YONEZAWA, Wilson Massashiro; BARROS, Daniela Melaré Vieira. (Orgs.). **EaD, tecnologias e TIC**. São Paulo: Cultura Acadêmica; Marília: Oficina Universitária, 2013.

CAPÍTULO 14

UTILIZAÇÃO DA RADIAÇÃO INFRAVERMELHA NA SECAGEM DE AMOSTRAS DE BANANA

Anderson Arthur Rabello
Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais
Instituição: Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte - MG, Brasil
E-mail: arthur@cefetmg.br

Úrsula do Carmo Resende
Doutora pela Universidade Federal de Minas Gerais
Instituição: Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte - MG, Brasil
E-mail: resendeursula@cefetmg.br

Fátima de Cássia Oliveira Gomes
Doutora pela Universidade Federal de Minas Gerais
Instituição: Departamento de Química do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte - MG, Brasil
E-mail: fatimaog@cefetmg.br

Ana Maria de Resende Machado
Doutora pela Universidade Federal de Lavras
Instituição: Departamento de Química do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte - MG, Brasil
E-mail: anamrmachado@cefetmg.br

Euler Cunha Martins
Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais
Instituição: Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte - MG, Brasil
E-mail: euler@cefetmg.br

Ícaro Veloso Soares
Mestre pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Instituição: Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de EducaçãoTecnológica de Minas Gerais
Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte-MG, Brasil
E-mail: icaro.soares@ieee.org

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo secar amostras de 50 gramas de banana prata cortada em fatias com espessura de 5 mm, utilizando-se fontes de radiação infravermelha, a partir de simulação computacional e construção de protótipo para

realização do experimento. A distribuição do campo eletromagnético foi obtida por meio do software CST Studio Suíte® e os resultados foram utilizados para construção do protótipo. As amostras foram submetidas à radiação por infravermelho durante o período de 70 minutos. As lâmpadas foram desligadas a cada 10 minutos para a medição da massa das amostras, verificando-se que houve estabilização da massa a partir de 50 minutos. As amostras em cada período foram submetidas à análise de umidade. Obteve-se uma redução da umidade inicial da banana prata *in natura* de 69,9 g/100g para 21,2 g/100 g, sendo este valor compatível com o normalmente adotado para a comercialização da banana desidratada.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem de Alimento; Radiação Infravermelha; Modelagem Computacional.

ABSTRACT: The objective of this work was to dry 50 g samples of silver banana cut into slices of 5 mm thickness, using sources of infrared radiation, from computer simulation and construction of a prototype to perform the experiment. The electromagnetic field distribution was obtained using the software CST Studio Suite® and the results were used to build the prototype. The samples were subjected to infrared radiation for a period of 70 minutes. The lamps were turned off every 10 minutes to measure the mass of the samples, verifying that the mass stabilized after 50 minutes. The samples in each period were submitted to moisture analysis. A reduction of the initial humidity of 69.9 g/100g of fresh silver banana to 21.2 g/100g was obtained, being this value compatible with the normally adopted for the commercialization of dehydrated banana.

KEYWORDS: Drying of Food; Infrared Radiation; Computational Modeling.

1. INTRODUÇÃO

A secagem de alimentos aumenta a vida útil do produto, além de apresentar outras vantagens como facilidade no transporte e na comercialização e redução nas perdas pós-colheita. Novos métodos de secagem têm sido pesquisados e entre eles a utilização de radiação eletromagnética, que reduz significantemente o tempo de retirada de água da matéria-prima por meio da absorção direta da energia pelas moléculas dos alimentos.

Para a simulação e o experimento deste trabalho escolheu-se a banana (*Musa* spp), uma das frutas mais produzidas no mundo, que possui elevado valor nutricional e é uma importante fonte de energia. O Brasil é o maior consumidor mundial da fruta que tem alto teor de carboidratos, amido e açúcares. A banana prata é a variedade mais comercializada, principalmente na região Nordeste do país (Embrapa, 2016). A banana desidratada, produzida a partir do processo de secagem da fruta *in natura*, agrega valor comercial ao produto e contribui na redução do desperdício, além de poder ser consumida em até dois anos após sua produção.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos para estudar a secagem da banana por meios de convecção forçada (BORGES *et al.,* 2010; HANAUER *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2017). Este processo, amplamente difundido, consiste em aquecimento do ar que atinge as matérias primas dispostas em bandejas. O fluxo de ar quente no interior do secador é estabelecido por meio de sistema de ventilação com a retirada do vapor de água do alimento para o exterior.

A eficiência da desidratação da banana pode ser aumentada, se a secagem por convecção forçada for associada aos processos de aquecimento por micro-ondas e infravermelho, ou substituída por eles. Nestes processos ocorre o fenômeno de absorção direta da radiação pelos componentes dos alimentos, fazendo com que haja vibração das moléculas e, consequentemente, a geração de calor. Estudos sobre uso de radiação eletromagnética para desidratação da banana por micro-ondas foram desenvolvidos por Monteiro (2014). Ao utilizar a radiação por micro-ondas ele conseguiu reduzir a umidade da banana em menor tempo que o aquecimento por convecção forçada.

Micro-ondas, cuja faixa de comprimento de onda da radiação (λ) varia de 1 a 1000mm, penetram no interior do alimento e o aquecimento ocorre pela vibração das moléculas, gerando calor. Entretanto, a penetração da onda na amostra pode formar

pontos máxima concentração de campo e, consequentemente, de calor. Estes pontos de concentração ou de queima do alimento, conhecidos como “hotspots”, são devidos à não linearidade da absorção de calor pela água contida nos alimentos em resposta à radiação eletromagnética. Os “hotspots” prejudicam a homogeneidade do aquecimento e a qualidade do produto. A simulação computacional pode ser utilizada para determinar parâmetros do processo de secagem de alimentos, a partir da distribuição do campo eletromagnético, evitando os “hotspots” (RABELLO, 2005).

A radiação infravermelha (IR) constitui uma parte do espectro eletromagnético em que predomina o efeito do aquecimento, como o provocado pelo sol. Qualquer corpo com temperatura acima de zero absoluto emite radiação no espectro infravermelho, que é comumente dividido em três faixas que dependem do comprimento de onda da radiação (λ): Infravermelho próximo (NIR), de λ=0,78 a 1,4 μm; Infravermelho médio (MIR), de λ=1,4 a 3 μm e infravermelho distante (FIR) de λ=3 a 1000 μm (KRISHNAMURTHY *et al.,* 2008).

No processo de secagem por IR, a maior parte da radiação infravermelha é absorvida por uma fina camada de matéria orgânica e água, então o aquecimento é superficial, sendo transmitido ao interior dos alimentos por condução. A energia IR é fortemente absorvida na água nos comprimentos de onda: 3 μm, 6 μm, 9 μm e 12 μm (ABOUD *et al.*, 2019).

Lâmpadas que possuem um filamento de alta resistência, por onde percorre determinada corrente elétrica, são utilizadas para emissão de IR. O processo de secagem utilizando lâmpadas IR é mais rápido que os processos de convecção forçada porque a energia é transferida diretamente da fonte para a superfície dos alimentos, sem necessidade de transporte de calor por meio de ar aquecido. Então, o ar em contato com a superfície do alimento não se aquece tanto como nos processos de convecção forçada, reduzindo o custo energético do processo.

Por outro lado, o aproveitamento da energia fornecida pelas lâmpadas IR na superfície é maior que o obtido no aquecimento por micro-ondas. Assim, taxas de secagem semelhantes aos processos de desidratação por micro-ondas podem ser obtidas com o ajuste da potência e com o arranjo do posicionamento das lâmpadas. Além disso, o protótipo pode ser construído utilizando superfícies refletoras de ondas eletromagnéticas para auxiliar no controle da formação dos pontos de queima do alimento (hotspots).

Outras vantagens do uso da desidratação por IR são: economia de tempo, boas

condições de controle dos parâmetros de aquecimento e fácil integração com processos de secagem convectivos, condutivos, por micro-ondas, por vibração, congelamento e vácuo (RIADH *et al.*, 2015). É possível também combinar as vantagens dos processos IR com micro-ondas, obtendo redução significativa no tempo de secagem (ÖZTURK *et al.*, 2017)

De acordo com Sakare e colaboradores (2020) os parâmetros que influenciam no rendimento da secagem utilizando IR para desidratação de alimentos são: Potência aplicada ao alimento, tempo de exposição, distância entre a fonte e a superfície do alimento e a espessura do alimento. Os autores verificaram por experimento que aumentona potência média fornecida aumenta a difusividade da umidade e reduz o tempo de secagem. Portanto, justifica-se a simulação computacional para o ajuste dos parâmetros antes da construção do protótipo do experimento, reduzindo os custos de fabricação de secadores IR.

Pan e colaboradores (2008) obtiveram 60 % de redução de umidade da banana em 15 minutos, aplicando uma densidade de potência em torno de 5000 W/m2 e combinando secagem por convecção forçada e IR. Khampakool e colaboradores (2019) mostraram a eficiência da liofilização de bananas assistido por IR e que o aumento das taxas de secagem relacionou-se com o aumento na potência das lâmpadas resultando em economia de energia sem perda de qualidade da banana desidratada. Pekke e colaboradores (2013) compararam a desidratação de fatias de 5 mm e 8 mm de banana por IR em temperaturas de 60, 70 e 80 ^{o}C na superfície do alimento e concluíram que houve perda de eficiência de secagem com o aumento da espessura. Os autores também estabeleceram um limite de 70 ^{o}C na superfície da banana para preservar a qualidade do produto.

No início do processo de secagem por IR o calor específico da banana é relativamente alto devido à maior quantidade de água e o aumento da temperatura é maior. Ao longo do processo, a umidade diminui e menos energia IR é necessária para a secagem. Assim, predomina a difusão de calor por condução a partir da superfície ao interior da fruta. Para previsão da cinética de secagem são utilizados modelos matemáticos de aproximação (BAPTESTINI *et al.,* 2017; TAVONE *et al.,* 2020; TÜRKAN e ETEMOĞLU, 2020).

Uma alternativa aos modelos matemáticos de aproximação é utilizar a modelagem computacional para prever o comportamento do processo de secagem a partir da distribuição de energia eletromagnética na amostra. Os parâmetros podem

ser simulados antes da construção do protótipo e isto permite que o melhor arranjo possa ser obtido. A partir da simulação da distribuição do campo elétrico na banana é possível ajustar a potência IR aplicada, a distância entre a lâmpada e a superfície do alimento, considerando-se determinada espessura.

O objetivo principal deste trabalho foi obter a banana desidratada por meio de um protótipo de secagem, construído a partir da previsão dos parâmetros obtidos pela simulação computacional.

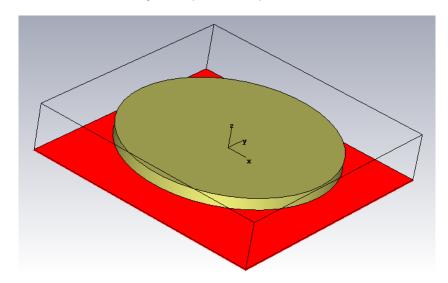
2. MATERIAIS E MÉTODOS

O protótipo utilizou lâmpadas IR para aquecer fatias de banana, dispostas em tela perfurada cujas dimensões não interferiam na incidência da radiação IR. Para auxiliar na construção do protótipo de secador da banana por IR utilizou-se a simulação computacional para verificar a distribuição do calor em uma das faces da banana prata em determinado arranjo de posicionamento das lâmpadas. O software CST Studio Suíte® foi utilizado para determinação da distribuição do campo elétrico, que aplica o método dos elementos finitos, com malha em hexaedros, no domínio do tempo. Os parâmetros da modelagem do campo elétrico na amostra estão definidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensionamento de parâmetros para simulação computacional do campo elétrico na amostra.

Parâmetro para cálculo do campo elétrico na amostra	Valor	Referência
Constante dielétrica da banana (ε´)	62	Monteiro (2014)
Fator de perda (ε´´)	17	Monteiro (2014)
Distância da fonte IR	0,1 m	Catálogo GE (2021)
Densidade de potência	1200 W/m^2	Catálogo GE (2021)
Comprimento de onda	3µm	(Aboud *et al.*, 2019)

A banana prata foi cortada em fatias no formato de disco com espessura aproximada de 5 mm. O diâmetro escolhido para a fatia de banana usada no experimento foi 30 mm. Contudo, para a redução do tempo computacional na fase de simulação, utilizou-se o recurso da simetria, reduzindo-se todas as dimensões. A Figura 1 mostra o modelo da fatia de banana simulada no software CST Studio Suíte®.

Figura 1 – Modelo da fatia de banana simulada no software CST Studio Suíte® A geração do calor por meioda radiação IR (representada em vermelho) ocorre devido à penetração do campo elétrico na direção z a partir da superfície inferior.

Supondo que a quantidade de energia média transportada pela onda eletromagnética equivale à energia térmica transferida ao alimento, o cálculo aproximado da temperatura na região da amostra em determinado intervalo de tempo em segundos, foi realizado conforme a Equação 1.

$$T = \frac{scAE_0^2}{2mC_P} + T_a \qquad (1)$$

Em que T é a temperatura em ºC da superfície com área A em m^2; T_a é a temperatura ambiente considerada 25 ºC no dia do experimento; E_0 é o módulo do campo elétrico na região considerada em V/m, obtido por meio da simulação; c é a velocidade da luz em m/s; ε é a permissividade da banana em F/m; m é a massa da região considerada em kg e C_P é o calor específico da banana em J/kgºC obtido de Alvarado (1994).

O protótipo foi então construído com superfícies metálicas que refletem a radiação em todas as superfícies da amostra de banana, de modo a reproduzir os perfis de temperatura obtidos na simulação computacional. Assim, foi possível reduzir os gradientes de temperatura ao longo do tempo de secagem.

As fontes de IR escolhidas foram duas lâmpadas incandescentes refletoras de aquecimento IR de potência 250 W modelo GE Modelo 250/R/IR/CL. A Figura 2 mostra o esquema do protótipo construído para o experimento e a Figura 3 mostra o arranjo das fatias de banana no secador.

Figura 2 – Esquema do protótipo construído para secagem das fatias de banana

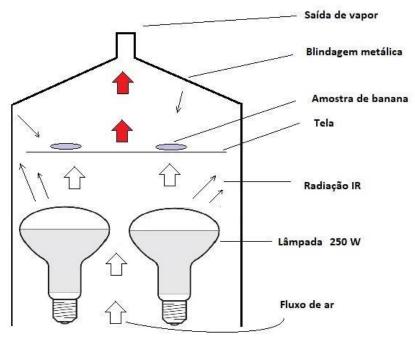



Figura 3 – Arranjo das fatias de banana no protótipo do experimento

As fatias de banana *in natura* foram submetidas à radiação por infravermelho verificando-se a massa das amostras até a estabilização das medidas em 70 minutos. Inicialmente, 50 g de banana descascada em fatias foram posicionadas na tela do protótipo e as lâmpadas foram ligadas durante 10 minutos, quando o processo foi interrompido para medição da massa das amostras. Então, a amostra foi retirada do secador e embalada para ser submetida à análise de umidade. Após o processo foi reiniciado, com secagem por 20 minutos de nova amostra com massa inicial equivalente (50 g). O procedimento se repetiu para 30, 40, 50, 60 e 70 minutos. A

análise foi realizada pelo método de secagem diretaem estufa, definida em IAL (2005).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra a distribuição do campo elétrico ao longo da superfície da banana, na qual incide a radiação IR, obtido pela simulação computacional. A Figura 5 mostra a penetração do campo elétrico na direção z a partir da base xy, além da superfície no sentido para o interior da fruta.

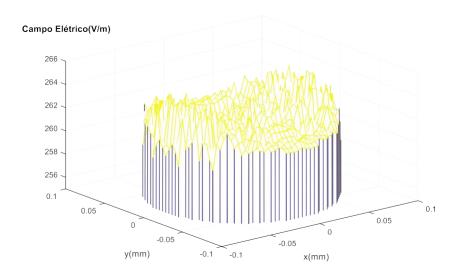
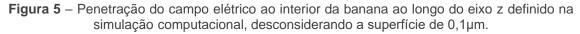
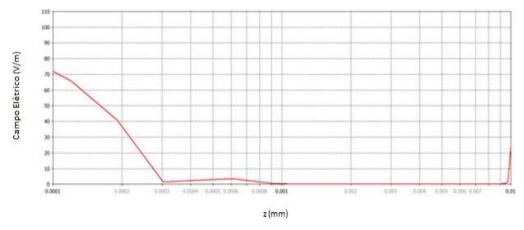



Figura 4 – Distribuição do campo elétrico na superfície de incidência IR.

Figura 5 – Penetração do campo elétrico ao interior da banana ao longo do eixo z definido na simulação computacional, desconsiderando a superfície de 0,1µm.

Os resultados da simulação mostraram que a distribuição da energia IR na superfície da banana submetida à radiação IR foi homogênea, o que evita o

surgimento de pontos de queima (“hotspots”) no alimento. O campo elétrico médio obtido das componentes $\mathbf{E_x}$, $\mathbf{E_y}$ e $\mathbf{E_z}$ foi 261,27 V/m.

Por outro lado, a intensidade do campo diminuiu intensamente a partir da superfície sendo praticamente nulo a partir de 0,3µm. Isto significa que o aquecimento por IR pode ser considerado praticamente superficial.

A Figura 6 mostra a temperatura obtida a partir da Equação 1, após 6 minutos de aquecimento.

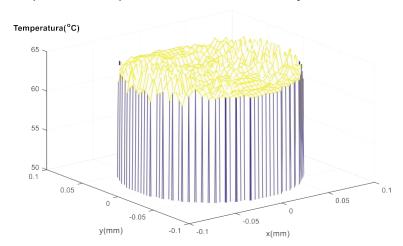



Figura 6 – Temperatura na superfície de incidência da radiação infravermelha após 6 minutos.

A temperatura na superfície da banana aumentou rapidamente, atingindo o valor médio de 63,4 °C em 6 minutos, que é equivalente à temperatura usual do processo de secagem (entre 60 a 70 °C). Esse valor serve de referência para a comparação entre os processos de secagem por convecção e IR. A absorção de energia IR na superfície da banana é muito mais rápida no início do processo e depois se equilibra com a difusão do calor para o interior da fruta e os fenômenos convectivos nas superfícies.

A densidade de potência IR aplicada à amostra de banana influencia no tempo de secagem, como confirmado pelos resultados da simulação computacional e os estudos anteriores. Maiores densidades de potência IR aplicadas ao alimento aceleram o aquecimento inicial. Pekke e colaboradores (2013) utilizaram radiação IR com densidade de potência de 4600 W/m^2 para secar fatias de 5 mm de banana. Neste trabalho, o tempo para atingir a temperatura de 60 °C foi igual a 2 minutos. Pan e colaboradores (2008) encontraram tempo de 4 minutos para que a temperatura atingisse aproximadamente 60 °C utilizando fonte IR com potência de 3000 W/ m^2.

Devido à menor densidade de potência IR aplicada (1200 W/ m^2), justifica-se o tempo obtido pela simulação computacional neste trabalho, maior que os resultados anteriores.

Os resultados do experimento utilizando o protótipo podem ser observados na cinética de secagem obtida na curva da Figura 7.

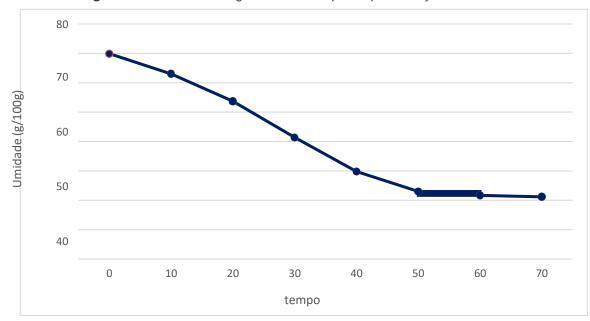



Figura 7 – Curva de Secagem da banana passa por radiação infravermelha

A redução de cerca de 70 % da umidade ocorreu em aproximadamente 50 minutos, quando as medidas de massa da amostra começaram a se estabilizar. Pekke e colaboradores (2008) encontraram redução de aproximadamente 70% de umidade em cerca de 25 minutos, entretanto, utilizando secagem por IR com maior densidade de potência aplicada (4600 W/m^2).

A taxa de redução da umidade foi significantemente maior que os processos por convecção forçada. Oliveira e colaboradores (2017) obtiveram as curvas de secagem da banana prata dispostas em bandejas de um secador com circulação de ar a 60 ^oC. Neste trabalho, a amostra de banana desidratada alcançou a umidade de 18% em mais de 8 horas. Hanauer e colaboradores (2015) obtiveram resultados semelhantes em 10 horas. Borges e colaboradores (2010) avaliaram as curvas de secagem da banana prata alterando a geometria da fatia, a velocidade do ar de convecção e sua temperatura. A maior taxa desecagem para a banana prata foi obtida nas condições de ar a 70 ^oC, com velocidade 0,42m/s e formato de corte em fatias em

forma de disco. Com estas condições, a amostra de banana teve redução de 60 % na umidade em aproximadamente 3 horas.

Portanto, os resultados encontrados na simulação computacional e no experimento foram coerentes com os estudos prévios sobre a secagem da banana.

O aspecto final do produto pode ser visualizado na Figura 8, que mostra a banana desidratada após 70 minutos, embalada para os testes de umidade. Observa-se que não há a formação de pontos de queima ("hotspots") na superfície do alimento. O valor final de umidade 21,2 g/100 g está de acordo com o requerido para comercialização do produto (JESUS *et al.,* 2005).

Figura 8 – Aspecto final da banana desidratada

Fonte: Os Autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da radiação infravermelha mostrou-se um método rápido e eficiente de secagem da banana prata. A simulação computacional confirmou as condições observadas em trabalhos anteriores, podendo-se, portanto, considerar o processo de secagem da banana por radiação infravermelha como um problema de difusão de calor dasuperfície ao interior da fruta. Além disso a modelagem computacional permitiu a previsão de parâmetros de aquecimento para a realização do experimento. Houve significativa redução do tempo de secagem em relação ao processo de convecção forçada,sem a produção de pontos de queima ("hotspots") na banana desidratada. Como continuidade desse trabalho está sendo verificada a interferência do processo de secagem por radiação infravermelha na qualidade do produto.

REFERÊNCIAS

Aboud, S. A.; Altemimi, A.B.; Al-HiIphy.; A.R.S.; Yi-Chen, L.; Cacciola, F. A. Comprehensive Review on Infrared Heating Applications in Food Processing. Molecules2019, n. 24, p. 1-21.

Alvarado, J.D. Propiedades fisicas de fruta: difusividade y conductividade térmica efectiva de pulpas. Latin American Applied Research, 1994, v. 24, n. 1, p. 41-47.

Borges, S.V.; Mancini, M.C.; Corrêa, J.L.G.; Leite, J. Secagem de Banana Prata e d`águapor convecção forçada. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2010, v.30, n. 3, p. 605-612.

Baptestini, F.M.; Corrêa, P.C.; Oliveira, G.H.H.; Botelho, F.M.; Oliveira, A.P.L. Coeficientes de transferência de calor e massa e modelagem da secagem por infravermelho de fatias de banana. Revista Ceres, 2017, v.64, n.5, p.

Embrapa -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A cultura da banana.Coleção Plantar. Embrapa Informação Tecnológica. 2006. 110p.

GE Lighting Technical Catalogue. European Edition. Disponível em https://docs.rs-online.com/e205/0900766b800b1b47.pdf. Acesso em 07/03/2021

Hanauer, D. C.; Matiello, E. R; Paini, F. M.; Bueno, P. F. Secagem de Duas Cultivares de Banana em Estufa com Circulação de Ar em Diferentes Temperaturas Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos, 2015, v.1. n. 1, disponível em https://www.revistas.udesc.br/index.php/revistacsbea/issue/view/446, acesso em 07/03/2021.

IAL -Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 2005. p. 98-99. 013/IV Perda por dessecação (umidade) – Secagem em estufa a vácuo

Khampakool, A.; Soisungwan, S.; Park, S.H. Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: Drying kinetics, energy consumption, and texture. LWT - Food Science and Technology, LWT - Food Science and Technology, 2019, n. 99, p. 355–363.

Krishnamurthy, K.; Khurana, H.K.; Jun, S.; Yrudayaraj, J.; Demirci A. Infrared Heating in Food Processing: An Overview. Comprehensive Reviews in Food and Science and Food Safety. Institute of Food Technologists, 2008, v. 7, n.1, p. 2-13.

Jesus, S. C.; Matsuura F.C.A.U.; Folegatti, M.I.S; Cardoso, R.L. Avaliação de banana- passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2005, vol. 40. n.6, p. 573-579.

Monteiro, R.L.; Secagem de Banana (var. Prata) em campo de micro-ondas com vácuo contínuo ou intermitente. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, 2014, 138 p.

Oliveira, J.P.; Araujo, C.I.A.; Alves, E.E.; Souza T.I.M, J.; Chauca, M.N.C.; Careli, R.T.Desidratação de Banana Prata Anã Saborizada com Canela. Caderno de Ciência Agrária,2017, v. 9, n.3, p. 17-23.

Özturk, S.; Sakiyan, Ö. Alifaki, Y, Ö. Dielectric properties and microwave and infrared-microwave combination drying characteristics of banana and kiwifruit. Journal of food Process Engineering, 2017, v. 40. p.1-8.

Pan, Z.; Shih,C.; McHugh,T.H.; Hirschberg, E. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. LWT - Food Science and Technology, 2008, v. 41, p.1944 -1951.

Pekke, M. K.; Pan, Z.; Griffiths, G.A.; Smith, G.; Thompson J.F. Drying Characteristicsand Quality of Bananas Under Infrared Radiation Heating. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2013, v. 6, n.3, p. 58-70.

Rabello, A. A.; Silva E.J.; Vollaire C.; Nicolas. A. Adaptive Time-Stepping of Non Linear Microwave Problems. IEEE Transactions on Magnetics. 2005, v. 41, p. 1584–1587.

Riadh, M. H.; Ahmad B. S. A.; Marhaban, M. H.; Soh, A.C. Infrared Heating in Food Drying: An Overview. Drying Technology, 2015, v. 33, p. 322–335

Sakare, P.; Prasad,N.; Thombare,N.; Singh, R.; Sharma, S.C. Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances. Food Engineering Reviews, 2020, v. 12. Pg. 381–398

Tavone, L.A.S; Arévalo, C.R.B; Pinedo, A.A.; Maldonado, C.A.B.; Pizato, S.; Pinedo, R.A. Comparação de modelos matemáticos da cinética de secagem de banana pão/sapo em estágio verde de maturação. Brazilian Journal of Development, 2020, v. 6, n. 6, p.35611-35622.

Türkan,B.; Etemoğlu, A.B. Experimental and theoretical investigation of drying kineticsof banana slices. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 2020, v. 26, n.4,p. 643-653

CAPÍTULO 15

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE AMOSTRAS DE REJEITO DE MINERAÇÃO DE BAUXITA E OURO

Helena Paula Nierwinski
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Professora do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC/ Joinville
Endereço: R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:helena.paula@ufsc.br

Amanda Reus
Graduanda do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC/ Joinville
Endereço: R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:amandareus@hotmail.com

Marcelo Heidemann
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Professor do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC/ Joinville
Endereço: R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:marcelo.heidemann@ufsc.br

Edgar Odebrecht
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/
Joinville
Endereço: R. Paulo Malschitzki, 200 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-710
E-mail:edgar@geoforma.com.br

Breno Salgado Barra
PhD pela Université Gustave Eiffel (UGE), em Nantes (França)
Professor do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC/ Joinville
Endereço: R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:breno.barra@ufsc.br

Daniel Hastenpflug
Doutor em Engenharia e Tecnologia de Materiais pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grandedo Sul
Professor do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC/ Joinville

Endereço: R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:daniel.h@ufsc.br

Yader Alfonso Guerrero Pérez
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina
Professor do curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC/ Joinville
Endereço: R. Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, Brasil, 89219-600
E-mail:guerrero.y@ufsc.br

RESUMO: A exploração mineral tem grande influência na economia brasileira. Apesar dos benefícios que o setor traz para a sociedade, como emprego e renda, há diversos problemas atrelados à destinação dos subprodutos gerados pelo beneficiamento dos minérios. Recentemente, acidentes decorrentes do rompimento de barragens utilizadas para disposição de rejeitos, levaram a discussões acerca da necessidade de desenvolver projetos mais seguros. A etapa inicial deste processo consiste em conhecer as características e o comportamento dos rejeitos de mineração. Este trabalho teve por objetivo caracterizar dois rejeitos de mineração, provenientes de minas brasileiras, de extração de bauxita e ouro. Foram realizados ensaios de caracterização: granulometria com sedimentação, limites de Atterberg, densidade real dos grãos e compactação em ambas as amostras. Para complementar a análise, as propriedades de compressibilidade dos materiais foram avaliadas, por meio de resultados de ensaios deadensamento. Ao final do estudo avaliaram-se os parâmetros encontrados para ambos os materiais analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeito de mineração; Caracterização; Ensaios de Laboratório; Geotecnia ambiental.

ABSTRACT: Mineral exploration has great influence on the Brazilian economy. Despite the benefits that the sector brings to society, such as employment and income, there are several problems linked to the destination of the byproducts generated by the processing of ores. Recently, accidents resulting from the rupture ofdams used for waste disposal, led to discussions about the need to develop safer projects. The initial stage of this process consists in knowing the characteristics and behavior of the mining waste. This work aimed to characterize two mining tailings, from Brazilian mines, of bauxite and gold extraction. Characterization tests were performed: granulometry with sedimentation, Atterberg limits, real grain density and compaction in both samples. To complement the analysis, the compressibility properties of the materials were evaluated, through thickening test results. At the end of the study, the parameters found for both analyzed materials were evaluated.

KEYWORDS: Mining Reject; Characterization; Laboratory Tests; Environmental Geotechnics.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é considerada um dos principais setores da economia do Brasil. O país possui grandes reservas com uma diversificada variedade de minerais metálicos e não-metálicos, estando entreos seis mais importantes países minerais do mundo (Barreto, 2001). Ao mesmo tempo em que a exploração mineral contribui para o desenvolvimento econômico do país pode provocar impactos negativos e danos ambientais.

Nos últimos tempos houve uma considerável evolução na gestão ambiental da mineração no país.

Isto deve-se ao crescente reconhecimento da necessidade de proteção ambiental pela sociedade, juntamente com o aumento progressivo na rigidez das leis, que proporcionaram grandes reflexos no setormineral (Sánchez, 2007).

Vale ressaltar que diversos acidentes estão relacionados com a exploração mineral, e considerável parcela envolve o rompimento de barragens utilizadas para armazenamento de rejeitos de mineração (Thomé e Passini, 2018).

A ruptura de barragens de rejeitos de mineração gera sérios impactos ao meio ambiente, o que tem se tornado um relevante desafio à Engenharia Civil e Ambiental. Além de que, as barragens de rejeitos tem por finalidade permanecerem estáveis por longos períodos de tempo, usualmente maiores que a vida útil da mina (Espósito e Assis, 1999). Diante desta realidade, conhecer adequadamente as propriedades dos rejeitos de mineração é imprescindível para o desenvolvimento de projetos geotécnicos seguros (Bedin, 2010) ou para a investigação de propriedades que permitam o reaproveitamento destes materiais (Lima *et al*, 2020). Os ensaios de laboratório contribuem fundamentalmente com a definição destas propriedades. Neste contexto, o presente trabalho visa avaliar as características geotécnicas de dois rejeitos de mineração brasileiros: bauxita e ouro. A pesquisa englobou a realização dos seguintes ensaios de laboratório: granulometria com sedimentação, limites de Atterberg, densidade real dos grãos,compactação e ensaios de adensamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Rejeito de mineração de bauxita

O alumínio é um elemento bastante utilizado, servindo como matéria-prima para diversas atividades. Transportes, construção civil e eletroeletrônicos são alguns setores que se destacaram na suautilização nas últimas décadas (Zhang *et al*., 2016).

O minério de bauxita é a principal fonte de obtenção do alumínio. Cerca de 90% da alumina, proveniente do beneficiamento da bauxita, é designada para a produção do alumínio metálico (Constantino *et al*., 2002).

O processo de Bayer é o mais utilizado para o beneficiamento deste tipo de minério. Consiste, basicamente, na realização de duas etapas, a britagem para redução granulométrica e purificação para aobtenção da alumina (Tutmez, 2018). Os elementos sem valor comercial, provenientes deste processo, são denominados de rejeitos de mineração de bauxita.

Bedin (2010), por meio de ensaios de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) e (*Energy Dispersive x-ray detector* - EDX) no rejeito de bauxita, constatou a presença de elementos químicos como sódio, alumínio, silício, cálcio, titânio e ferro em quantidades que variam com a geologia do localde extração do minério.

2.2 Rejeito de mineração de ouro

Os tratamentos utilizados para o beneficiamento do minério de ouro apresentam algumaspeculiaridades que o diferenciam de outros tipos de tratamento. O material submetido ao beneficiamentose encontra em sua forma elementar metálica, com elevada maleabilidade e densidade. O valor do produto do beneficiamento do minério de ouro é superior a grande maioria dos bens minerais (Chaves ePeres, 2002).

O processo a ser escolhido para a extração do ouro depende principalmente do conhecimento daformação do depósito, das características do minério e dos outros minerais associados (Roenick, 2013).O processo pode se restringir a uma adequação granulométrica às etapas de hidrometalurgia ou envolver, além da preparação, estágios de concentração (Chaves e Peres, 2002).

Os principais minerais presentes na rocha de origem do minério de ouro são: quartzo, albita, clorita e sulfetos. Já os rejeitos provenientes do processo de

beneficiamento do minério apresentam como componentes predominantes o ferro e o silício e em menor quantidade titânio e alumínio (Bedin, 2010).

2.3 Métodos de disposição

A metodologia de disposição dos rejeitos é estipulada de acordo com fatores operacionais e condições locais da mineradora. Onde as condicionantes estão relacionadas ao minério e ao processo de beneficiamento utilizado. Existem diversas metodologias e mecanismos de disposição de rejeito que buscam atrelar a segurança ambiental aos custos associados ao processo de contenção (Figueiredo, 2007).

Entre os métodos de disposição de rejeitos as barragens de contenção ainda são as mais utilizadas, principalmente quando se utiliza o rejeito como material de construção da própria barragem (IBRAM, 2016).

O custo da disposição, atrelado ao grande volume de rejeitos gerados tornam o método de alteamento de barragens atrativo, pois o investimento é diluído em etapas, conforme a necessidade de armazenamento do material (Nierwinski, 2013).

As contenções iniciam com um dique de partida que passam por alteamentos ao longo de sua vida útil. Podem ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimos, ou com o próprio rejeito, por meio de três métodos de alteamento: montante, jusante e linha de centro, os quais se diferenciam pelo deslocamento do eixo da barragem em relação ao dique de partida (IBRAM, 2016). A solução mais econômica e de fácil execução é obtida pelo método de alteamento à montante.

Esta é, no entanto, a metodologia que tem maior registro de acidentes ocasionados por rupturas, quando comparado com os outros dois métodos de alteamento (Nierwinski, 2013).

No método de alteamento à montante, os rejeitos vão sendo lançados sobre o material previamente depositado e não consolidado. Este processo resulta em áreas saturadas, pouco compactadas, em adensamento e, com baixa resistência, que consequentemente apresentam predisposição para a ocorrência do fenômeno de liquefação quando submetidos à solicitação não- drenada (Bedin, 2010; Nierwinski, 2013; Nierwinski, 2019). Por este motivo, o conhecimento das propriedades dos rejeitos depositados é imprescindível para o desenvolvimento de projetos seguros.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental consistiu na realização de ensaios de caracterização básica em amostras de dois rejeitos brasileiros, provenientes do beneficiamento de minério de bauxita de ouro. São avaliados rejeitos de mineração de bauxita provenientes de dois reservatórios distintos, sendo aqui denominados de reservatório A (rejeito de coloração mais avermelhada) e reservatório B (rejeito de coloração intermediária). O rejeito de mineração de ouro (coloração acinzentada) será tratado neste trabalho como proveniente do reservatório C. A Figura 1 apresenta as imagens de cada uma das amostrasanalisadas neste trabalho.

Figura 1 – Amostras dos rejeitos em estudo.

Para a caracterização geotécnica dos rejeitos foram realizados os seguintes ensaios:granulometria com sedimentação, limites de Atterberg (limite de liquidez e de plasticidade), densidade real dos grãos e compactação. Estes ensaios seguiram as prerrogativas de suas respectivas normas: NBR7181 (2017), NBR 6459 (2017), NBR 7180 (2016), NBR 6458 (2016), NBR 7182 (2016).

Foi executado um ensaio de adensamento para cada rejeito, seguindo-se todas as diretrizes da ABNT 12007 (1990). Os corpos de prova foram submetidos a aplicação de cargas axiais, que foram transmitidas em estágios, e dobradas a cada 24 horas. Em cada etapa de carregamento, registou-se a

variação de altura do corpo de prova em períodos de tempo indicados pela

norma. Após os carregamentos, realizou-se o descarregamento em etapas até que atingisse a estabilização das deformações. Para este ensaio utilizaram-se corpos de prova com diâmetro de 5 cm, e altura de 2 cm.

Os rejeitos de bauxita, provenientes do reservatório A e B, foram ensaiados com amostras indeformadas, coletadas com auxílio de um amostrador do tipo Shelby. Já no rejeito de mineração de ouro, por este apresentar características mais granulares, não foi possível a coleta de uma amostra indeformada e o ensaio foi realizado em amostra reconstituída, com os mesmos índices físicos de campo. A Tabela 1 apresenta os índices físicos das amostras submetidas ao ensaio de adensamento.

Tabela 1 – Índices físicos dos rejeitos em estudo

Amostra	γn (g/cm^3)	e
Reservatório A (bauxita)	1,84	1,40
Reservatório B (bauxita)	1,73	1,21
Reservatório C (ouro)	1,56	1,16

Utilizou-se a metodologia de Lade (1978) para a reconstituição da amostra do rejeito de mineração de ouro. O processo consiste, basicamente, em relacionar um volume a uma massa por meio da realização de compactação em camadas. Para atingir uma efetiva compactação utilizou-se a umidade ótima encontrada através do ensaio de compactação para moldar os corpos de prova.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus Joinville/SC.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de caracterização e adensamento realizados nas amostras dos rejeitos de mineração em análise.

4.1 Análise granulométrica

As curvas granulométricas dos rejeitos de mineração de bauxita e ouro, obtidas

por meio de ensaios de peneiramento e sedimentação, estão apresentadas na Figura 2.

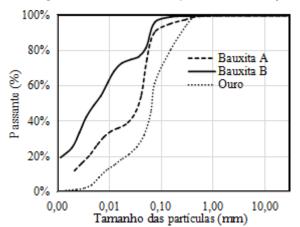



Figura 2 – Curvas granulométricas dos rejeitos de mineração de bauxita e ouro.

Na curva granulométirca do rejeito de mineração de bauxita proveniente do reservatório A, notou-se uma representativa concentração de partículas do tamanho de silte, em torno de 72%. Em menorquantidade apresentaram-se partículas do tamanho areia fina, cerca de 16%, e argila, cerca de 12%. O valor de D_{50} encontrado para este material foi igual a 0,037 mm.

Em análise à curva granulométrica do rejeito de mineração de bauxita proveniente do reservatório B, pode-se verificar uma elevada concentração de partículas do tamanho de silte, cerca de 62%, e argila,cerca de 26% da amostra. O restante, cerca de 12%, podem ser caracterizadas como partículas do tamanho de areia fina. O valor de D_{50} encontrado para este material foi igual a 0,005 mm.

Já em relação à curva granulométrica do rejeito de mineração de ouro, pode-se perceber uma grande concentração de partículas do tamanho de areia fina, cerca de 44%, e também de silte, cerca de 40% da amostra total. O restante, cerca de 14% corresponde a areia média e há uma pequena concentração de partículas do tamanho de argila, aproximadamente de 2%. Estas porcentagens demonstram o caráter mais granular do rejeito de mineração de ouro em relação aos rejeitos de mineração de bauxita avaliados. O valor de D_{50} encontrado para o rejeito de mineração de ouro foi igual a 0,068 mm.

4.2 Limites de atterberg e densidade real dos grãos

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para os limites de Atterberg (Limite de Liquidez – LL eLimite de Plasticidade – LP) e densidade real dos grãos (G) para

os rejeitos em análise.

Tabela 2 – Limites de Atterberg e densidade real dos grãos dos rejeitos de mineração em estudo

Rejeito	LL (%)	LP (%)	IP (%)	G
Bauxira A	37,2	36,9	0,3	3,06
Bauxita B	32,2	29,9	2,3	2,88
Ouro	NL	NP	NP	2,86

Fizeram-se necessárias várias repetições do ensaio de Limite de Liquidez (LL) para a caracterização adequada dos rejeitos de bauxita. Ao se realizar o ensaio percebeu-se que o material apresentava grande interação com a água, sendo que um acréscimo muito pequeno de água à amostra alterava demasiadamente o comportamento do rejeito. Em função da redução da quantidade de água, estes mesmos efeitos não foram observados na determinação do Limite de Plasticidade (LP), mas provocaram baixos valores do Índice de Plasticidade (IP) destes materiais.

O valor de LL, para o rejeito de bauxita proveniente do reservatório A, foi determinado como sendo igual a 37,17%. Já para o rejeito de bauxita do reservatório B encontrou-se o valor LL como sendoigual a 32,19% . As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados dos ensaios de LL das amostras analisadas. Verifica-se a baixa variação dos teores de umidade para os diferentes valores de golpes necessários para o fechamento da ranhura no aparelho de Casagrande.

Figura 3 – Resultados dos ensaios de LL rejeito de mineração de bauxita A

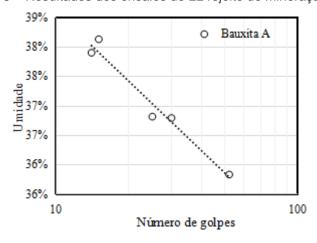
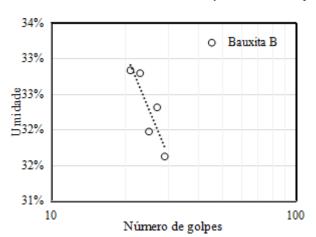



Figura 4 – Resultados dos ensaios de LL rejeito de mineração de bauxita B

Com os dados de LL e LP, determinou-se o índice de plasticidade (IP), que foi de 0,16% para a bauxita do reservatório A e 2,33% para a do reservatório B. Os valores de IP encontrados caracteriza o material como fracamente plástico. Este material provém de um processo industrial em que há adição de elementos químicos. No entanto, é importante ressaltar, que as características de plasticidade encontradas por meio do ensaio, não são decorrentes da presença dos argilominerais, mas sim possivelmente sejam resultados da reação da água com elementos químicos resultantes do processo de beneficiamento do minério de bauxita.

O rejeito de mineração de ouro, proveniente do reservatório C, não apresentou valores de LL e LP e, portanto, foi classificado como um material não-plástico.

O valor encontrado para densidade real dos grãos (G) foi de 3,06 para o rejeito de bauxita proveniente do reservatório A e 2,88 para o reservatório B. Já o valor encontrado para o rejeito de ouro,proveniente do reservatório C, foi de 2,86. Percebe-se que os rejeitos de mineração apresentam um valorde G alto, típico de materiais com presença de elementos metálicos em sua composição.

4.3 Ensaio de compactação

Para avaliação das características de compactação dos rejeitos, utilizou-se a Energia Proctor Normal, com reuso de material. As curvas de compactação obtidas para cada um dos rejeitos avaliadospodem ser visualizadas através da Figura 5.

O valor do peso específico aparente seco máximo do rejeito de bauxita, proveniente do reservatório A, foi determinado como sendo igual a 1,47 g/cm^3, na umidade ótima igual 30,54%. Os valores encontrados para o rejeito de bauxita,

proveniente do reservatório B, foram semelhantes aos doreservatório A, sendo o peso específico aparente seco máximo igual 1,42 g/cm^3 e a umidade ótima iguala 32,22%. Ao se comparar os resultados obtidos com valores típicos fornecidos pela literatura, observa-se que o rejeito de mineração de bauxita apresenta resultados similares àqueles esperados para um solo argiloso, ou seja valores de $\gamma_{dmáx}$ entre 1,5 e 1,4 g/cm³ e umidade ótima entre 25 e 30% (Sousa Pinto, 2006).

Já para o rejeito de ouro, proveniente do reservatório C, encontrou-se o valor do peso específico aparente seco máximo de 1,75 g/cm^3 e a umidade ótima de 17,33%. Ao se comparar estes resultados com valores típicos para solos naturais, apresentados por Sousa Pinto (2006), pode-se afirmar que os rejeitos de mineração de ouro apresentam a mesma faixa de variação esperada para um solo arenoso laterítico fino, cujo $\gamma_{dmáx}$ está em torno de 1,75 g/cm^3 e umidade ótima de 17%.

Conforme apresentado anteriormente (item 4.1 deste trabalho), o rejeito de mineração de ouro apresenta predominância de partículas de diâmetro maior do que os rejeitos de bauxita, além de não apresentar plasticidade. Possivelmente tais propriedades tenham contribuído para o aumento dos valoresde $\gamma_{dmáx}$ e redução da umidade ótima neste material.

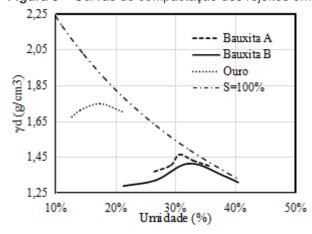



Figura 5 – Curvas de compactação dos rejeitos em estudo

4.4 Ensaio de adensamento

A Figura 6 apresenta as curvas de adensamento obtidas para os rejeitos avaliados. Para os rejeitosde mineração de bauxita, provenientes dos reservatórios A e B, o ensaio foi executado num corpo de prova esculpido a partir de uma amostra indeformada, coletada com o auxílio de um amostrador do tipoShelby. Para o caso

do rejeito de mineração de ouro, ensaiou-se um corpo de prova reconstituído, nas condições mais próximas possíveis àquelas observadas em campo.

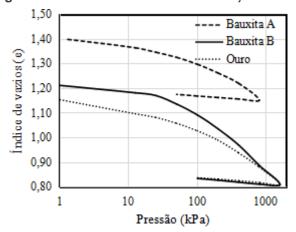



Figura 6 – Curva de adensamento dos rejeitos em estudo

De acordo com Vick (1983) a curva de adensamento de rejeitos nem sempre é de fácilinterpretação, sendo muitas vezes difícil a clara distinção entre o trecho de recompressão e reta virgem. Desta forma, muitas vezes os valores definidos para a tensão de pré-adensamento não retratam as reais condições de campo, sendo apenas um resultado da interpretação gráfica realizada.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os parâmetros de compressibilidade definidos para cada um dos rejeitos avaliados, bem como, os valores da tensão de pré-adensamento (´$_{vm}$), defnidos por meio da interpretação gráfica das curvas de adensamento obtidas.

Os valores definidos para as tensões de pré-adensamento para os rejeitos de mineração de bauxita, provenientes dos reservatórios A e B, foram similares. Tendo-se em vista que estes materiais são gerados a partir de um processo industrial e que não teriam as mesmas propriedades de uma argila em relação ao histórico de tensões, acredita-se que por se tratar de amostras indeformadas, os valores de σ'_{vm} encontrados possam retratar uma eventual estruturação natural existente nos depósitos, provocada pela interação entre os elementos químicos resultantes do processo de beneficiamento.

Já para o rejeito de mineração de ouro, a tensão de pré-adensamento encontrada não está relacionada com as condições naturais do reservatório, visto que o corpo de prova foi reconstituído. Neste caso em específico, possivelmente o valor encontrado seja apenas um resultado da interpretação gráfica realizada e não

apresenta sentido prático para utilização em projetos com este material.

Tabela 3 – Valores de □´vm, c_c, c_r e c_v definidos para os rejeitos avaliados

Rejeito	σ'_{vm} (kPa)	c_c	c_r	c_v
Bauxita A	90	0,184	0,064	0,20
Bauxita B	80	0,251	0,076	0,025
Ouro	192	0,199	0,064	0,18

Tabela 4 – Valores de a_v, m_v, e D definidos para os rejeitos avaliados

Rejeito	av	mv	D (kPa)
Bauxita A	$-1{,}850E^{-4}$	$7{,}708E^{-5}$	$1{,}297E^{4}$
Bauxita B	$-1{,}805E^{-4}$	$8{,}156E^{-5}$	$1{,}226E^{4}$
Ouro	$-1{,}285E^{-4}$	$5{,}963E^{-5}$	$1{,}677E^{4}$

Os coeficientes de compressibilidade dos rejeitos apresentaram valores na mesma ordem de grandeza, sendo uma pouco mais expressivos paro o rejeito de mineração de bauxita do depósito B, que apresenta maiores porcentagens de partículas de menores diâmetros.

O valor do coeficiente de consolidação (c_v) obtido para os rejeito de mineração de bauxita do depósito A foi superior ao da bauxita do depósito B. A granulometria dos materiais pode ter influenciadonos valores, visto que a bauxita do reservatório A possui predominância de partículas de diâmetros maiores em comparação com as partículas presentes no rejeito de bauxita do reservatório B.

Os valores dos índices de vazios iniciais dos corpos de prova ensaiados variaram para cada material. O rejeito de mineração de ouro foi reconstituído para condições estimadas de campo, com o maior índice de vazios dos três materiais ensaiados. Entretanto, verificou-se que a variação do índice devazios em função da carga aplicada foi menor no rejeito de mineração de ouro do que nos rejeitos de mineração de bauxita. Este comportamento pode ser identificado através do maior valor do Módulo Edométrico (D), encontrado para o rejeito de mineração de ouro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização de rejeitos de mineração é substancial para projetar soluções de disposição seguras. Visto a situação atual brasileira, em que recentemente se apresentaram casos de acidentes envolvendo a disposição de rejeitos, a importância

de conhecer o comportamento destes materiais se torna ainda maior. Neste trabalho foi realizado a caracterização de rejeitos de mineração de bauxita e ouro provenientes de diferentes reservatórios brasileiros.

O rejeito de mineração de ouro analisado apresenta predominância granular e não possuiplasticidade. Já os rejeitos de bauxita A e B, obtiveram, apesar de baixos, índices de plasticidade iguaisa 0,3% e 2,3%, respectivamente.

As tensões de pré-adensamento dos rejeitos de bauxita A e B apresentaram valores similares 90 e 80 kPa, respectivamente. Estes valores, podem indicar a existência de algum efeito de cimentação presente nos reservatório. Já para o rejeito de ouro o valor encontrado para a tensão de pré-adensamento não apresenta um sentido prático, uma vez que, trabalhou-se com um corpo de prova reconstituído.

Os índices de compressão dos rejeitos apresentaram valores na mesma ordem de grandeza, sendo levemente inferiores para os materiais com maior presença de partículas de maior diâmetro. Já os valores do coeficiente de consolidação (c_v) sofreram bastante influência da granulometria, sendo que nos rejeitos de mineração com porcentagens de partículas com maiores diâmetros, os valores de c_v foram bem superiores do que no material com maior predominância de partículas de menores diâmetros.

O Módulo Edométrico dos rejeitos avaliados indicou o rejeito de ouro como o material suscetível às menores taxas de deformação quando submetido à carregamento. Embora o índice de vazios inicial do corpo de prova deste material tenha sido superior aos corpos de prova dos rejeitos de bauxita, a redução do índice de vazios com o acréscimo de carga foi menos expressiva.

Os rejeitos de mineração apresentam muita variabilidade dependendo do tipo de minério extraídoe da metodologia de beneficiamento adotada. Portanto, a realização de ensaios de caracterização torna- se imprescindível como etapa inicial de desenvolvimento de projetos com estes materiais.

REFERÊNCIAS

ABNT (2016). NBR 6457: *Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 12 p.

ABNT (2016). NBR 6458: *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinaçãoda massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 13 p.

ABNT (2016). NBR 7180: *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 7 p.

ABNT (2016). NBR 7182: *Solo – Ensaio de compactação*. Associação Brasileira De Normas Técnicas,Rio de Janeiro, 13 p.

ABNT (1990). NBR 12007: *Solo – Ensaio de adensamento unidimensional*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 15 p.

ABNT (2017). NBR 7181: *Solo – Análise granulométrica*. Associação Brasileira De Normas Técnicas,Rio de Janeiro, 16 p.

ABNT (2017). NBR 6459: *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Associação Brasileira De NormasTécnicas, Rio de Janeiro, 9 p.

Barreto, M. L. (2001) *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil.* CETEM, Rio de Janeiro, 215 p.
Bedin, J. (2010) *Estudo de comportamento geomecânico de resíduos de mineração*. Tese de Doutorado,Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, UniversidadeFederal do Rio Grande do Sul, 207 p.

Chaves, A. P.; Peres, A. E. C. (2002) *Teoria e prática do tratamento de minérios*. Signus Editora, São Paulo, v.1, 2 ed.

Constantino, V. R. L.; Araki, K.; Silva, D. O.; Oliveira, W. (2002). *Preparação de composto de alumínioa partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático*. Química Nova, São Paulo, v. 25, p. 490-498.

Espósito, T.; Assis, A. (1999) *Métodos probabilísticos acoplado ao método observacional aplicados a barragens de rejeito*. Departamento Engenharia Civil/FT, Universidade de Brasília.

Figueiredo, M. M. (2007) *Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a mineração cada de pedra - Congonhas/MG*. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 147 p.

IBRAM (2016). *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Instituto Brasileiro de Mineração, Brasília,1ed., 128 p.

Lade, R. S. (1978) *Preparing test specimens using undercompaction.* Geotechnical Testing Journal, Philadelphia, V1, n.1, p.16-23.

Lima, H. B. S.; Mendes, B. H. A.; Labor, J. S.; Barbosa, K. S. L.; Costa, D. S.; Banna, W. R. E.; Costa, D. S. (2020). *Estudo da influência da sedimentação gravitacional da lama vermelha na resistência àchamas de compósitos poliméricos*. Brazilian Applied Science Review, V: 4, nº 3, 1166-1173.

Nierwinski, H. P. (2013) *Potencial de liquefação de resíduos de mineração estimado através de ensaiosde campo.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 207 p.

Nierwinski, H. P. (2019) *Caracterização e Comportamento Geomecânico de Rejeitos de Mineração*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 232 p.

Roenick, F. S. F. (2013) *Extração de ouro contido em minério de baixo teor empregando pilhas de lixiviação com cianeto*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharias Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 151 p.

Sánchez, L. E. (2007). Mineração e meio ambiente. In: *Tendências tecnológicas Brasil 2015: geociências e tecnologia mineral*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p.196-213.

Sousa Pinto, C. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Oficina de Textos. 363 p.

Thomé, R.; Passini, M. T. (2018). *Barragens de rejeito de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais.* CiênciasSociais Aplicadas em Revista, UNIOESTE/MRC, v.18, p. 49-65.

W. (2002). *Preparação de composto de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre algunsaspectos envolvidos em um experimento didático*. Química Nova, São Paulo, v. 25, p. 490-498.

Espósito, T.; Assis, A. (1999) *Métodos probabilísticos acoplado ao método observacional aplicados a barragens de rejeito*. Departamento Engenharia Civil/FT, Universidade de Brasília.

Figueiredo, M. M. (2007) *Estudo de metodologias alternativas de disposição de rejeitos para a mineração cada de pedra - Congonhas/MG*. Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 147 p.

IBRAM (2016). *Gestão e manejo de rejeitos da mineração*. Instituto Brasileiro de Mineração, Brasília,1ed., 128 p.

Lade, R. S. (1978) *Preparing test specimens using undercompaction.* Geotechnical Testing Journal, Philadelphia, V1, n.1, p.16-23.

Lima, H. B. S.; Mendes, B. H. A.; Labor, J. S.; Barbosa, K. S. L.; Costa, D. S.; Banna, W. R. E.; Costa,
D. S. (2020). *Estudo da influência da sedimentação gravitacional da lama vermelha na resistência àchamas de compósitos poliméricos*. Brazilian Applied Science Review, V: 4, nº 3, 1166-1173.

Nierwinski, H. P. (2013) *Potencial de liquefação de resíduos de mineração estimado através de ensaiosde campo.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 207 p.

Nierwinski, H. P. (2019) *Caracterização e Comportamento Geomecânico de Rejeitos de Mineração*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 232 p.

Roenick, F. S. F. (2013) *Extração de ouro contido em minério de baixo teor empregando pilhas de lixiviação com cianeto*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharias Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 151 p.

Sánchez, L. E. (2007). Mineração e meio ambiente. In: *Tendências tecnológicas Brasil 2015: geociências e tecnologia mineral*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p.196-213.

Sousa Pinto, C. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. Oficina de Textos. 363 p.

Thomé, R.; Passini, M. T. (2018). *Barragens de rejeito de mineração: características do método de alteamento para montante que fundamentaram a suspensão de sua utilização em Minas Gerais.* CiênciasSociais Aplicadas em Revista, UNIOESTE/MRC, v.18, p. 49-65.

Tutmez, B. (2018). *Bauxite quality classification by shrinkage methods*. Journal of Geochemical Exploration, Turkey, v. 191, p. 22-27.

Vick, S.G. (1983) *Planning, design and analysis of tailings dams*. John Wiley & Sons, Inc., 369 p. Zhang, Y.; Sun, M.; Hong. J. Han, X.; He, J.; Shi, W.; Li, X.. (2016). *Environmental footprint ofaluminium production in China*. Journal of Cleaner Production, China, v. 133, p. 1242-1251.

CAPÍTULO 16

INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS DE SOLUBILIZAÇÃO E ENVELHECIMENTOARTIFICIAL NA DUREZA DE UMA LIGA DE AL COM 5,5% DE CU PRODUZIDA VIA METALURGIA DO PÓ

Tarsila Tenório Luna da Silva
Mestre em Engenharia Mecânica Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Endereço: Departamento de Engenharia Mecânica - Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária – Recife - Pe
E-mail: tarsilatls@gmail.com1

Cezar Henrique Gonzalez
Doutor em Ciências Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Endereço: Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais – INTM, Cidade Universitária, Recife – PE, 50740 – 540
E-mail: cezarchg@yahoo.com1

Michelle Maria Perez Lott
Graduada em Engenharia de Produção Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Endereço: Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais – INTM, Cidade Universitária, Recife – PE, 50740-540
E-mail: michelle.lott@ufpe.br1

Sandra Torres Zarzar
Formação: Mestre em Engenharia MecânicaUniversidade Federal de Pernambuco
Endereço: Departamento de Eng. Mecânica - Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária – Recife - Pe
Email: sandrazarzar@gmail.com1

Oscar Olimpio de Araujo Filho
Formação: Doutor em Tecnologia do Tecnologia Nuclear - MateriaisUniversidade Federal de Pernambuco – UFPE
Endereço: Departamento de Eng. Mecânica - Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária – Recife - Pe
E-mail: oscar.oaraujo@ufpe.br

RESUMO: Este trabalho apresenta o estudo dos tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento artificial realizados em uma liga de alumínio com 5,5 % de cobre produzida via metalurgia do pó e a influência destes tratamentos no aumento da dureza do material. Os pós elementares de alumínio e cobre foram inicialmente processados emum moinho de alta energia tipo SPEX por 2h, em seguida seis amostras foram compactados uniaxialmente a frio em uma prensa hidráulica, a carga de compressão utilizada foi de 14 toneladas por um tempo de 15 minutos, posteriormente as amostras foram sinterizadas em um forno a vácuo por 5h à uma temperatura de 515°C. Após sinterização, três das amostras sofreram os seguintes tratamentos térmicos: solubilização à 180°C por 2h, seguido de resfriamento por têmpera em água e envelhecimento artificialà 515ºC por 7h seguido de resfriamento à temperatura ambiente. As amostras foram submetidas ao ensaio de microdureza Vickers onde foi verificado um aumento na durezado material de 69,22% na liga após

tratamento térmico. Foram realizados experimentos de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de baixa energia dispersiva associada para caracterização microestrutural da liga, além de difração de raios-X que determinou as fases presentes na liga.

PALAVRAS-CHAVE: Metalurgia do Pó, Ligas de Al-Cu, Microdureza Vickers, Solubilização, Envelhecimento Artificial.

ABSTRACT: This work presents the study of the heat treatments of solution treating and artificial aging made in an aluminum alloy with 5.5% of copper produced by powder metallurgy and the influence of these treatments in increasing the hardness of the material. The aluminum and copper raw powders were initially processed in a SPEX type high energy mill for 2 h, then uniaxially cold compacted in a hydraulic press, the compression load used was 14tons for a time of 15 minutes the samples were sintered in a vacuum furnace for 5h at a temperature of 515 ° C. After sintering, three of the samples underwent the following thermal treatments: solubilization at 180 ° C for 2 h, followed by quenching with water and artificial aging at 515 ° C for 7 h followed by cooling to room temperature. The samples were submitted to the Vickers microhardness test where an increase in the material hardness of 69.22% was observed in the alloy after heat treatment. Experiments of optical microscopy and scanning electron microscopy with associated low dispersive energy spectroscopy for microstructural characterization of the alloy, besides X-ray diffraction that verified the phases in the alloy.

KEYWORDS: Powder Metallurgy, Al-Cu Alloys, Vickers Microhardness, Solution Treating, Artificial Aging.

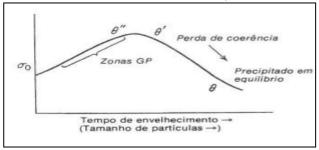
1. INTRODUÇÃO

A metalurgia do pó é uma técnica metalúrgica que produz peças próximas ou na forma final de uso, onde os componentes estão inicialmente na forma de pós. Os pós elementares são processados em moinhos de alta energia, que podem ser vibratórios, planetários ou atritores, por uma técnica denominada mechanical alloying. Numa segundaetapa os pós processados são compactados em prensas uni ou biaxiais de ação simples ou dupla e por último são sinterizadas, todas as etapas são realizadas no estado sólido. Em casos onde a peça é próxima da forma final de utilização a etapa de sinterização é a última,quando necessita-se obter peça na forma final de utilização, são requeridas operações deacabamento. Os materiais produzidos por essa técnica apresentam bom controle dimensional, porosidade e microestrutura controladas, além de proporcionarem pouco desperdício de material (Chiaverini, 2001).

As ligas de alumínio da série 2XXX, são chamadas de Duralumínio e possuem quantidades de cobre entre 4-6%, estas ligas são tratáveis termicamente e apresentam teores de dureza relativamente altos devido ao fenômeno denominado endurecimento porprecipitação. Este fenômeno ocorre na região rica em alumínio do diagrama de fases Al-Cu mesma região de formação das ligas da série 2XXX. Ele é obtido através dos tratamentos térmicos de solubilização seguindo de envelhecimento artificial da liga comtemperatura e tempo controlados (Barbosa, 2014 e Callister, 2002).

O mecanismo de endurecimento por precipitação se realiza nas fases α e θ. A faseα consiste numa solução sólida substancial do cobre no alumínio e a fase θ trata-se de umcomposto intermetálico Al_2Cu. A Figura 1 apresenta as fases de transição necessárias parachegar ao composto Al_2Cu (fase θ), essas fases ocorrem durante o tratamento térmico deenvelhecimento e influenciam nas propriedades mecânicas do material final. No estágio inicial átomos de cobre se aglomeram formando discos muito pequenos e delgados no interior da fase α, esses discos são também denominados de zona de Guinier-Preston (GP), com a difusão ocorrida após passado algum tempo de tratamento térmico, estas zonas aumentam de tamanho e tornam-se partículas. Estas partículas passam por duas fases de transição, são elas θ’’ (concorrente) e a fase θ’ (semiconcorrente), até formar a fase de equilíbrio θ. Quando o tempo do tratamento térmico é aumentado ocorre o superenvelhecimento que é um fenômeno resultante quando há continuidade de crescimento das partículas das fases θ’ e θ

(Barbosa, 2014; Dieter, 1961 e Coutinho, 1980).

Figura 1 – Variação da tensão de escoamento com o tempo de envelhecimento (Dieter, 1961).

A sequência de precipitação das ligas Al-Cu é:

$$SS \rightarrow GP \rightarrow \theta'' \rightarrow \theta' \rightarrow \theta\ (Al_2Cu)^3$$

Onde:

SS = solução sólida supersaturada;

GP = zonas de Guinier-Preston.

No Brasil, a fabricação de peças via MP começou na década de 40 quando Chiaverini et al. (2001) produziram em pequena escala buchas de bronze auto-lubrificantes, materiais de ferro e aço e ferramentas de corte.

Entretanto, as aplicações de peças de alumínio fabricadas via MP só se consolidaram na indústria em 1993 quando a GM começou a produzir casquilhos de mancais deste material na sua linha de Northstar. O uso do alumínio obteve êxito principalmente em peças do sistema de suspensão pela alta capacidade de absorver choques. A adição de elementos como o cobre nas ligas de alumínio contribui para aumentar o endurecimento destas (Delarbre, 2000).

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para esse trabalho foram fabricadas seis amostras com os pós elementares de alumínio AA1100 da Alcoa Inc. e de cobre fabricado pela Dinâmica Química Contemporânea Ltda. As amostras foram processadas em um moinho de alta energia do tipo SPEX por 2h, para a carga foram usadas 9,45g de pó de alumínio, 0,55g de pó de cobre e 100g de esferas metálicas. Na segunda etapa do experimento, as amostras foramcompactadas em uma prensa hidráulica, a carga utilizada foi de 14 toneladas por 15 minutos.

2.1 Tratamentos térmicos

Após compactadas, as amostras em número de seis foram sinterizadas, porém apenas três foram também tratadas termicamente. A sinterização e os tratamentos térmicos da liga foram realizados em um forno a vácuo da marca INOVATEC, as condições destes experimentos são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições de Sinterização e Tratamentos Térmicos

	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Resfriamento
Sinterização	515	5	Ao forno
Solubilização	180	2	Têmpera em água
Envelhecimento artificial	515	7	Ao ar (temperatura ambiente)

2.3 Microscopia ótica

A captura de imagens de MO foi feita no Microscópio Ótico da marca Olympus emodelo BX51M, as imagens foram capturadas pelo software Analysis. As amostras foramembutidas em resina a frio para evitar mudanças de fase, em seguida lixadas em lixas d’água de 220, 320, 440 e 1000 e polidas em pano de polimento com pasta de diamante 1µm. O ataque químico utilizado foi o ácido fluorídrico (0,5%) (Coutinho, 1980).

Estes equipamentos são pertencentes ao Laboratório de Microscopia e Análise Macroestrutural (LAMAM) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da UFPE.

2.4 Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de baixa energia dispersiva associada

Para realização da Microscopia Eletrônica de Varredura foi utilizado o MEV da marca Hitachi modelo TM3000 com EDS acoplado, detecção por elétrons retroespalhados, filamento de tungstênio, voltagem de 15kV e capacidade de aumento deaté 30.000×, pertencente ao Laboratório de Microscopia e Análise Macroestrutural (LAMAM) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade

Federal de Pernambuco (UFPE).

Os tamanhos de grãos foram estimados utilizando como base a escala de mediçãodas imagens onde foi identificado o tamanho aproximado da maior partícula encontrada. A Espectroscopia de Baixa Energia Dispersiva fornece de maneira qualitativa e semi- quantitativa as composições químicas das amostras e detecta se houve contaminação durante o processo de moagem (Prabhu, 2006).

2.5 Difração de raios-x

O difratômetro utilizado neste trabalho foi o Shimadzu modelo XRD-7000, pertencente ao Laboratório de Materiais Compósitos e Integridade Estrutural (COMPOLAB) que faz parte do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). As fases foram identificadas pelo métodode Hanawalt (Rodrigues, 2005).

2.6 Microdureza vickers

Os ensaios de Microdureza Vickers foram realizados no microdurômetro da marcaInsize modelo ISH-TDV1000 pertence ao Laboratório de Microscopia e Análise Macroestrutural (LAMAM) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A carga utilizada foi 300g (0,03kgf) comtempo de aplicação de 10s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa secção apresenta e explica os resultados dos experimentos de Microscopia Ótica, Microscopia Eletrônica de Varredura com Espectroscopia de Baixa Energia Dispersiva associada, Difração de Raios-X e Microdureza Vickers.

3.1 Microscopia ótica

As Figuras 2, 3, 4 e 5 apresentam as imagens de Microscopia Ótica das amostras apenas sinterizada (figs. 2 e 3) e tratada termicamente (figs. 4 e 5). Nas

Figuras 2 e 4 as amostras estão sem ataque químico, já as figs. 3 e 5 foram atacadas termicamente com ácido fluorídrico (0,5%), que melhorou a visualização das microestruturas.

Figura 2 – MO da amostra somente sinterizada, aumento de 200×, secção superficial, sem ataque químico.

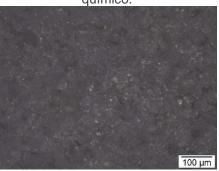



Figura 3 – MO da amostra somente sinterizada, aumento de 200×, secção superficial, atacada quimicamente.

Figura 4 – MO da amostra tratada termicamente, aumento de 200×, secção superficial, sem ataque.

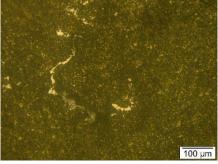
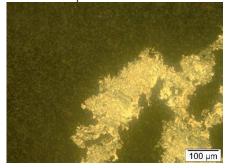



Figura 5 – MO da amostra tratada termicamente, aumento de 200×, secção superficial, atacada quimicamente.

As imagens de MO para as seis amostras apresentaram morfologia de grãos

aproximadamente equiaxiais, os contornos de grãos não ficaram muito bem evidenciados e definidos devido ao processo de moagem de alta energia que introduziu deformações e distorções no material. Nas imagens de MO também se verificou uma boa densificação e não apresentaram aspectos marmorizados, mostrando que não houve amorfização da liga. Nelas também há indícios da formação do composto Al_2Cu, identificados no ensaio de Difração de Raios-X (secção 3.3). As análises de EDS para as amostras (secção 3.2) identificou que as áreas mais claras têm maiores quantidades de cobre em relação às áreasmais escuras (Barbosa, 2014; Chiaverini, 2001; Coutinho, 1980; Durmus, 2006; Silva, 2017; Totik, 2003 e Zhou, 1999).

3.2 Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de baixa energia dispersiva associada

As figuras 6 e 7 apresentam imagens de MEV para as amostras apenas sinterizadase tratadas termicamente, respectivamente.

Figura 6 – MEV da amostra sinterizada, aumento de 2000×, secção superficial

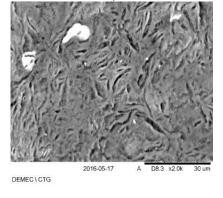
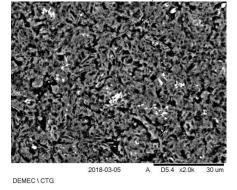



Figura 7 – MEV da amostra tratada termicamente, aumento de 2000×, secção superficial

Nas amostras tratadas termicamente observou-se tamanhos de grãos menores

emrelação às amostras somente sinterizadas, porém possuem tamanhos de grãos menores que 30µm, valor coerente com o estudado na literatura. As imagens de MEV das amostrasapresentaram uma morfologia de grãos aproximadamente equiaxiais, com contornos de grãos não muito bem evidenciados e definido devido ao processo de moagem, que introduziu distorções e deformações na liga (Chiaverini, 2001; Coutinho, 1980 e Silva, 2017).

As Figuras 8 e 9 apresentam os espectros de EDS das amostras apenas sinterizadase das tratadas termicamente, respectivamente.

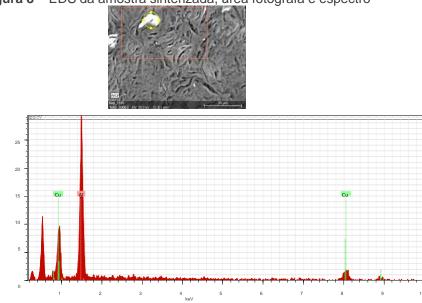
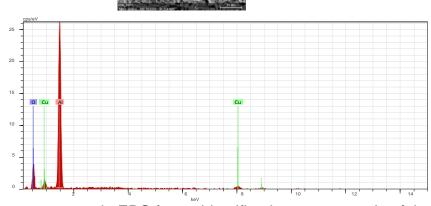



Figura 8 – EDS da amostra sinterizada, área fotografa e espectro

Figura 9 – EDS da amostra tratada termicamente, área fotografada e espectro

Em todos os espectros de EDS foram identificados apenas o alumínio e cobre

(o Oxigênio surgiu provavelmente pela oxidação das amostras), demonstrando que não houve contaminação nas amostras durante o processo de moagem, nas partes claras foramidentificadas maiores quantidades de cobre. Estes precipitados podem ter influenciado noendurecimento por precipitação da amostra influenciando nos altos valores de HV obtidosna secção 3.4.

3.4 Difração de raios-x

A Figura 10 apresenta o espectrograma de DRX da amostra apenas sinterizada ea fig. 11 apresenta o espectrograma da amostra tratada termicamente.

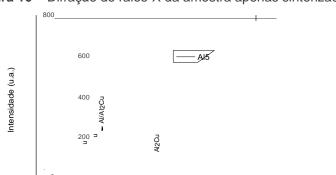
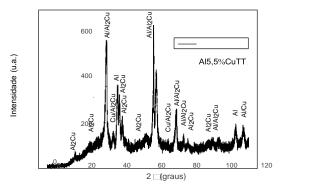



Figura 10 – Difração de raios-X da amostra apenas sinterizada

Figura 11 – Difração de raios-X da amostra tratada termicamente

Observa-se que houve um aumento na intensidade dos picos após os tratamentos térmicos de solubilização e endurecimento artificial, bem como maiores quantidades de picos identificados como a fase endurecedora Al_2Cu o que provavelmente levou ao endurecimento da liga conforme resultados do ensaio de microdureza Vickers. Sadeler etal. (2003) identificou o aumento na intensidade dos picos em ligas de alumínio AA2014 tratadas termicamente em relação a ligas apenas sinterizadas e também identificou a presença da fase endurecedora Al_2Cu. Silva

(2017) realizou o ensaio de DRX para os pósda liga de alumínio com 5,5% de cobre processados em moinho de alta energia do tipo SPEX por 0,5; 1 e 2 horas e observou que a intensidade dos picos diminuiu com o aumentodo tempo de processamento.

3.5 Microdureza vickers

A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de microdureza Vickers obtidos paraas amostras na condição apenas sinterizada e tratada termicamente. A amostra apenas sinterizada apresentou uma dureza de 90,47HV, enquanto a tratada termicamente apresentou uma dureza de 153,10HV. Foi verificado que os tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento artificial endureceram a liga em 69,22%, mostrando queestes tratamentos térmicos, provavelmente devido ao mecanismo de endurecimento por precipitação, endurecem as ligas de alumínio da série 2XXX. Esse aumento de dureza é coerente com o encontrado na literatura.

Tabela 2 – Resultados experimentais do ensaio de microdureza Vickers

	Sem tratamento térmico	Solubilizado eenvelhecido artificialmente
Dureza média	90,47 ± 6,35 HV	153,10 ± 9,72 HV
Percentual de endurecimento	0,00%	69,22%

Kent et al. (2005) submeteram ligas da série 2XXX ao tratamento térmico de envelhecimento natural e obtiveram valores de dureza próximos a 80HRB (147HV). Emtratamentos térmicos de envelhecimento artificial em ligas da série 2XXX, Tobias et al. (2012) obtiveram durezas próximas a 160HV. Durmus et al. (2006) concluíram que ligasde alumínio da série 2XXX podem aumentar sua dureza entre 40 e 80% mediante tratamento térmico de envelhecimento. Nos seus estudos de produção de compósitos de AA1100 reforçado com adição de 5% de carbeto de silício (SiC) ou alumina (Al_2O_3) também pelo processo de metalurgia do pó, Araujo Filho et al. (2016) chegaram a valoresde microdureza semelhantes, demonstrando assim a versatilidade deste tipo de processo para obtenção de materiais utilizados na engenharia.

Outras técnicas podem ser associadas ao processamento de pós elementares por moagem de alta energia com intuito de melhorar as propriedades mecânicas de ligas metálicas, cerâmicas e compósito. Araujo Filho et al. (2017) obteve aumento da dureza ligas de alumínio AA2124 reforçadas com carbeto de silício após submete-las

ao processo de extrusão a quente.

4. CONCLUSÃO

Os experimentos apresentados mostraram a influência dos tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento artificial na dureza de uma liga de alumínio com 5,5%de cobre.

As imagens de MO apresentaram morfologia de grãos aproximadamente equiaxiais, os contornos de grãos não ficaram muito bem evidenciados e definidos devido ao processo de moagem de alta energia que introduziu deformações e distorções no material, também foi identificada uma boa densificação e não apresentaram aspectos marmorizados, mostrando que não houve amorfização da liga.

Nas imagens de MEV as amostras tratadas termicamente aparentaram tamanho degrãos menores em relação às amostras apenas sinterizadas. Nas duas condições, as amostras apresentaram tamanhos de grãos menores que 30µm.

Os espectros de EDS demonstraram que não houve contaminação nas amostras, pois foram identificados apenas o alumínio e cobre, e que as partes claras possuem maiores quantidades de cobre em relação as partes mais escuras.

Os espectrogramas de DRX mostraram o surgimento da fase endurecedora Al_2Cu, mais evidente nas ligas tratadas termicamente, o que pode ter influenciado o endurecimento das ligas comprovado pelos resultados do ensaio de microdureza Vickers.Estes resultados mostraram um aumento de dureza médio de 69,22%, com o endurecimento do material passando de 90,47HV para 153,10HV após sofrer tratamentostérmicos.

As temperaturas de sinterização e tratamentos térmicos das amostras e o aumentoda dureza do material obtido pelo ensaio de microdureza Vickers contribuem para comprovar a formação do composto Al_2Cu.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da FACEPE, da UFPE, do CNPq, da Capes, do DEMEC edo PPGEM.

REFERÊNCIAS

Araujo Filho, O.O., Moura, A.D.A., Araujo, E.R., Santos, M.J., Gonzalez, C.H. e Silva, F.J., 2016, “Manufacturing and characterization of AA1100 aluminum alloy metal matrixcomposites reinforced by silicon carbide and alumina processed by powder metallurgy”.Materials Science Forum. ISSN: 1662-9752, vol. 869, pp 447-451.

Araujo Filho, O.O., Araujo, E.R., Lira, H.M., Gonzalez, C.H., Silva, N.D.G e Urtiga Filho, S.L, 2017, “Manufacturing of AA2124 Aluminum Alloy Metal Matrix Composites Reinforced by Silicon Carbide Processed by Powder Metallurgy Techniques of High Energy Ball Milling and Hot Extrusion”. Materials Science Forum, 899, 25–30.

Barbosa, C., 2014, “Metais não-ferrosos e suas ligas – microestrutura, propriedades e aplicações”. Editora E-papers, pp.13-22.

Callister, W.D., tradução Sérgio Murilo Stamile Soares, 2002, “Ciência e Engenharia deMateriais: Uma Introdução”. Rio de Janeiro. LTC, Brasil, pp. 258.

Chiaverini, V., 2001, “Metalurgia do Pó”, ABM – Associação Brasileira de Metalurgia. São Paulo, SP, Brasil, pp.1-11.

Coutinho, T.A., 1980, “Metalografia de não-ferrosos: análise e prática”. Editora Edgard Blücher, SP, pp. 80-91.

Delarbre, P. e Krehl, M., 2000, “Applications of P/M Aluminum Parts – Materials and Processing Schemes”. Proc. 2nd International Conference on Powder Metallurgy.

Durmus, H.K. e Meriç, C., 2006, “Age-hardening behavior of powder metallurgy AA2014 alloy”. Materials and Design 28 (2007) 982-986.

Dieter, G.E., 1961, “Metalurgia Mecânica”. Mellon University, 2ª edição, Pittsburgh, pp.191-195.

Kent, D., Schaffer, G.B. e Drennam, J., 2005, “Age hardening of sintered Al-Cu-Mg-Si-(Sn) Alloy”. Materials Science and Engineering A 405 (2005) 65-73.

Prabhu, B., Suryanarayana, C., An, L. e Vaidyanathan, R., 2006, “Synthesis and characterization of high volume fraction Al-Al2O3 nanocomposite powders by high-energy milling”. Material Science and Engineering A 425 (2006) 192-200.

Rodrigues, J.A., 2005, “Raios X: difração e espectroscopia”. 51p. (Série apontamentos).ISBN 85-7600-061-X. São Carlos: EdUFSCar, Brasil.

Sadeler, R., Totik, Y., Gavgali, M. e Kaymaz I., 2003. “Improvements of fatigue behaviorin 2014 alloy by solution heat treating and age-hardening”. Materials and Design 25 (2004) 439-445.

Silva, T.T.L., 2017, “Manufatura e caracterização de ligas de alumínio-cobre (Duralumínio) fabricadas via técnicas de metalurgia do pod”, Dissertação. 129f. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil, pp. 30-31.

Tobias, P.H.R., Silva, A. e Melo, M.L.N.M., 2012, “Influência da temperatura de envelhecimento na tenacidade ao impacto da liga AA2024”. VI Conferência Brasileira sobre Temas de Tratamento Térmico, Atibaia, SP, Brasil.

Totik, Y., Sadeler, R., Kaymaz, I. e Gavgali, M., 2003. “The effect of homogenization treatment on cold deformations of AA2014 and AA6063 alloys”. Journal of Materials Processing Technology 147 (2004) 60-64.

Zhou, J. e Duszczyk, J., 1999, “Liquid phase sintering of an AA2014-based composite prepared from an elemental powder mixture”. Journal of Materials Science 34 (1999) 545-550.

CAPÍTULO 17

GERENCIAMENTO DE RISCOS PARA MELHORIAS NO CONTROLE, SEGURANÇA E LICENCIAMENTO DE CENTRAIS NUCLEARES E INSTALAÇÕES RADIATIVAS: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE

Valéria Emiliana Alcântara e Alves
Graduação. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (Cefet/MG)
Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Campus da UFMG - Pampulha. Belo Horizonte (MG)
E-mail: valcantaraalves@gmail.com

Amir Zacarias Mesquita
Doutorado: Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Campus da UFMG - Pampulha. Belo Horizonte (MG)
E-mail: amir@cdtn.br

Ana Rosa Baliza Maia
Mestrado: Universidade Federal Fluminense (UFF)
Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Campus da UFMG - Pampulha. Belo Horizonte (MG)
E-mail: balizamaia@gmail.com

Alexandre Melo de Oliveira
Mestrado: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (Cefet/MG)
Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Campus da UFMG - Pampulha. Belo Horizonte (MG)
E-mail: alexanoliveira@gmail.com

Diva Godoy
Graduação: Faculdades Metodistas Izabela Hendrix (FAMIH)
Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Campus da UFMG - Pampulha. Belo Horizonte (MG)
E-mail: godiva@cdtn.br

Youssef Morghi
Doutorado: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Campus da UFMG - Pampulha. Belo Horizonte (MG)
E-mail: ssfmorghi@gmail.com

Edson Pereira da Silva
Mestrado: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF).
Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
Campus da UFMG - Pampulha. Belo Horizonte (MG)
E-mail: edson.silva@cdtn.br

Patrícia Albernaz Melo Ribeiro
Graduação: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG)
Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)

Campus da UFMG - Pampulha. Belo Horizonte (MG)
E-mail: albernaz.ribeiro@gmail.com

RESUMO: As revisões das recomendações regulatórias da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) no cenário mundial, após o acidente nuclear em Fukushima e o cenário nacional da criação da Agência Reguladora do Setor Nuclear, reforçam a necessidade de revisão e atualização contínua dos processos de licenciamento, avaliação de segurança e gerenciamento de risco à luz das lições aprendidas. Técnicas como Avaliação Probabilística de Risco, Engenharia de Confiabilidade e Inspeção Baseada em Risco, serão adaptadas e incorporadas aos processos de licenciamento nuclear e ambiental de centrais nucleares e instalações radioativas, buscando a melhoria dos projetos e a redução dos riscos envolvidos no ciclo de vida destas instalações. Este trabalho descreve o projeto de pesquisa em andamento no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), que tem como meta o desenvolvimento e a aplicação de metodologias de análise e gerenciamento de risco, tendo em vista a melhoria dos processos de licenciamento instalações nucleares. O estudo visa contribuir para a otimização no projeto das centrais nucleares e instalações radioativas do programa nacional, bem como melhorias de segurança e eficiência e eficácia no processo de seus licenciamentos. Os sistemas desenvolvidos poderão ser aplicados tanto para reatores nucleares de potência, reatores de pesquisa, instalações radioativas, quanto para as demais instalações do ciclo do elemento combustível.

PALAVRAS-CHAVE: Licenciamento nuclear; Técnicas de análise; Gerenciamento de risco; Centrais nucleares; Instalações radioativas.

ABSTRACT: The regulatory recommendations revisions of the International Atomic Energy Agency (IAEA) on the world stage after the nuclear accident in Fukushima, and the Brazilian scenario of the Nuclear Sector Regulatory Agency creation, reinforce the need for continuous review and updating of licensing processes, safety assessment and risk management in the light of lessons learned. Techniques such as Probabilistic Risk Assessment, Reliability Engineering and Risk-Based Inspection will be adapted and incorporated into the nuclear and environmental licensing processes for nuclear power plants and radioactive installations, seeking to improve projects and reduce the risks involved in the life cycle of these facilities. This paper describes the ongoing research project at Nuclear Technology Development Center (CDTN), which aims to develop and apply risk analysis and management methodologies, with a view to improving licensing processes for nuclear installations. The study aims to contribute to the optimization of the design of nuclear power plants and radioactive installations, under the Brazilian program, as well as improvements in safety, efficiency and effectiveness in the process of their licensing. The developed systems can be applied for nuclear power plant, research reactors, and radioactive installations as well as for other installations of the fuel element cycle.

KEYWORDS: Nuclear licensing; Analysis techniques; Risk management; Nuclear power plants; Radioactive installations.

1. INTRODUÇÃO

Segurança, confiabilidade e disponibilidade são critérios fundamentais em todo o ciclo de vida das instalações nucleares e radioativas, incluindo projeto, seleção de local, construção, operação e descomissionamento. Muitos órgãos reguladores nucleares em todo o mundo, incluindo a Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), exigem avaliações de riscos determinísticas e probabilísticas de tais instalações para atender aos regulamentos de licenciamento, contribuindo para garantir a segurança, além de reduzir custos e impactos ambientais em operações normais e de acidentes.

Após o acidente nuclear de Fukushima Daiichi, no Japão, em 2011, muitos países têm identificado a necessidade de melhorias para os processos de licenciamento ambiental e nuclear de seus reatores nucleares, a fim de consolidar as lições aprendidas a partir desse evento. Geralmente, a avaliação de segurança, durante os processos de licenciamento, é realizada de forma determinística, complementada por métodos probabilísticos. No Brasil, o licenciamento nuclear é conduzido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen) e o licenciamento ambiental é de responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). O modelo de licenciamento destas duas agências, nos aspectos de análise de segurança e gerenciamento de riscos, é determinístico em sua essência. No licenciamento nuclear, o comportamento da central nuclear, depois de ser assumido um evento iniciador, é estudado com modelos de cálculo e simulação, que descrevem os fenômenos físicos que ocorrem nos reatores nucleares ou nas instalações radioativas. A Análise Probabilística de Segurança (APS) concentra-se em uma sequência de eventos que podem levar à fusão do núcleo do retorno caso de um reator nuclear, além de estudos de confiabilidade dos sistemas de segurança. No licenciamento ambiental, é necessária uma análise quantitativa de riscos, incluindo avaliações probabilísticas, visando apoiar o estudo de análise de risco, o programa de gerenciamento de riscos e o plano de emergência da central nuclear.

Os requisitos técnicos de segurança para reatores nucleares de potência e pesquisa, irradiadores, quanto para instalações do ciclo do elemento combustível são explicitados na estrutura normativa nacional e por meio de regulações internacionais. Análises de segurança, identificação dos riscos e dos modos de falha e seus efeitos

possuem um papel fundamental na avaliação destes requisitos e sua aplicação para assegurar a segurança radiológica e ambiental. Se ocorrer uma falha, esta poderá ser compensada ou corrigida [1].

Para tanto, são necessárias blindagens, dispositivos de segurança e de funcionários muito bem treinados. Por meio de uma adequada avaliação dos requisitos técnicos de segurança nuclear, é possível mitigar a ocorrência de acidentes com reatores nucleares, como os ocorridos em outros países.

Os sistemas de instalações industriais se deterioram ao longo do tempo, aumentando assim a possibilidade de acidentes. Requisitos técnicos de segurança e gerenciamento de riscos foram utilizados na elaboração do projeto do Reator Triga IPR-R1 do CDTN da década de 60. Entretanto, com o passar do tempo, a segurança evolui mediante a identificação de novos riscos e novas tecnologias. Desta forma, uma avaliação técnica da adequação destes requisitos e conceitos de segurança é necessária. O reator de pesquisa Triga IPR-R1 foi adquirido da *General Atomics* de San Diego/Califórnia pelo governo do Estado de Minas Gerais em 1960, através do programa Átomos da Paz. É um reator projetado para ser instalado em instituições de pesquisa e universidades, sendo que foram instalados no mundo um total de 70 reatores do tipo Triga. O Triga IPR-R1 foi construído no antigo Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), atual Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte. Foi o segundo reator nuclear instalado no país. Sua primeira criticalidade ocorreu em 1960 com uma potência térmica máxima de 30 kW. Nos anos 70, acrescentaram-se elementos combustíveis ao núcleo aumentando a potência para 100 kW. Em 2004 mudou-se a configuração do núcleo e da instrumentação, adicionaram-se mais elementos combustíveis e alcançou-se a potência de 250 kW. A nova configuração foi mantida, mas o reator tem operado apenas na potência máxima de 100 kW [2].

Em razão disso, o CDTN/ Cnen desenvolve um projeto de pesquisa que tem como meta o aprimoramento e aplicação de metodologia de análise e gerenciamento de risco, visando à melhoria dos processos de licenciamento nuclear de centrais nucleares.

A literatura denomina instalação nuclear [3] sendo a instalação devidamente autorizada, na qual o material nuclear é produzido, processado, reprocessado, utilizado, manuseado ou estocado em quantidades relevantes. Então, desde logo, compreendidos nesta definição:

a) reator nuclear;

b) usina que utilize combustível nuclear para produção de energia térmica ou elétrica para fins industriais;

c) fábrica ou usina para a produção ou tratamento de materiais nucleares, integrante do ciclo de combustível nuclear;

d) usina de reprocessamento de combustível nuclear irradiado;

e) depósito de materiais nucleares, não incluindo local de armazenamento temporário usado durante transportes.

Estão sujeitas ao licenciamento ambiental não somente as atividades que poluem, mas também as potencialmente poluidoras.

As licenças são expedidas pelo Poder Público, são elas [4]:

- Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;
- Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;
- Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

O reator nuclear não é um ente poluidor, todavia é potencialmente poluidor, uma vez que um acidente em sua instalação pode devastar o ecossistema. Desta forma, a Resolução Conama 237/1997 [4] prevê em seu artigo 4º, inciso IV que o licenciamento ambiental será exigido a empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional, a saber, os destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas

formas e aplicações. Concomitante a esse artigo as instalações nucleares possuem ainda a particularidade que só terão o licenciamento ambiental consentido mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear – Cnen [5]. Por este motivo, um gerenciamento de riscos adequado deve ser realizado nas instalações dessa natureza.

Um evento é uma ocorrência gerada com base em fontes externas ou internas que afeta a realização das atividades. Os eventos podem causar impactos positivos e/ou negativos. Se negativos esses eventos são denominados riscos. O risco é representado pela possibilidade de que um evento ocorrerá e afetará negativamente a realização das atividades.

O gerenciamento de riscos é [6]:

- um processo contínuo deve ser conduzido pelos profissionais em todos os níveis da instituição;
- aplicar à definição das estratégicas em toda a instituição, em todos os níveis e unidades;
- formulado de modo que identifique eventos em potencial cujo a ocorrência poderá afetar a organização, para assim administrar os riscos.
- capaz de propiciar garantia razoável para o conselho de administração e a diretoria executiva de uma organização;
- orientado para a realização de objetivos em uma ou mais categorias distintas, mas dependentes.

No projeto, aqui descrito, deve ser estudada a probabilidade de um determinado evento correr, não importando se medida, definida ou determinada, ainda que objetiva ou subjetiva, utilizando-se termos gerais ou matemáticos. Gerenciar riscos baseia-se em princípios, estrutura e processos delineados na NBR ISO 31000 [6] e os principais princípios definidos por ela são criação e proteção de valor, melhor explicado a seguir:

a) A gestão de risco é parte integrante de todas as atividades organizacionais.

b) Uma abordagem estruturada e abrangente para a gestão de riscos contribui para resultados consistentes e comparáveis.

c) A estrutura e o processo de gestão de riscos são personalizados e proporcionais aos contextos externo e interno da organização relacionados aos seus objetivos.

d) O envolvimento apropriado e oportuno das partes interessadas possibilita que seus conhecimentos, pontos de vista e percepções sejam considerados. Isto resulta em melhor conscientização e gestão de riscos fundamentada.

e) Riscos podem emergir, mudar ou desaparecer à medida que os contextos externo e interno de uma organização mudem. A gestão de riscos antecipa, detecta, reconhece e responde a estas mudanças e eventos de uma maneira apropriada e oportuna.

f) As entradas para a gestão de riscos são baseadas em informações históricas e atuais, bem como em expectativas futuras. A gestão de riscos explicitamente leva em consideração quaisquer limitações e incertezas associadas a estas informações e expectativas. Convém que a informação seja oportuna, clara e disponível para as partes interessadas pertinentes.

g) O comportamento humano e a cultura influenciam significativamente todos os aspectos da gestão de riscos em cada nível e estágio.

h) A gestão de riscos é melhorada continuamente por meio do aprendizado e experiências.

Diretamente relacionado ao gerenciamento de riscos está à engenharia de confiabilidade. A Engenharia de Confiabilidade [7] concentra-se na estimativa de risco, cálculo de probabilidade e prevenção de falhas durante a vida útil de um produto. O objetivo da Engenharia de Confiabilidade é garantir que um produto atenda, de forma consistente, às expectativas do cliente para executar a função ou as funções pretendidas em um determinado período de tempo sob condições especificadas. A Engenharia de Confiabilidade concentra-se nos custos de falha, incluindo tempo de inatividade da máquina ou do sistema, estoque de peças de reposição, equipamento de reparo e possível custo de garantia.

O principal objetivo desse trabalho é analisar a evolução da análise de segurança e a aplicação de metodologias de gerenciamento de gerenciamento de risco, tendo em vista a melhoria dos processos de licenciamento de centrais nucleares e instalações radioativas.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto estão previstas várias etapas, dentre as quais se podem citar: definição do escopo e abrangência do sistema (projeto conceitual); levantamento de informações disponíveis pelos órgãos reguladores e pela indústria sobre perigos e eventos de maior interesse (registros de inspeções, de eventos, testes, manutenção, treinamentos, etc.); levantamento de técnicas de Avaliação Probabilísticas de Segurança, Gerenciamento de Risco, Engenharia de Confiabilidade e avaliação de consequências aplicáveis; elaboração do projeto lógico do sistema de avaliação integrada da segurança, incluindo modelos e bancos de dados necessários para aplicação das técnicas identificadas; realização de estudo de caso utilizando o sistema desenvolvido para avaliação e gerenciamento de riscos de centrais nucleares.

A metodologia empregada neste estudo foi formulada com o intuito de proporcionar um relatório para a realização dos objetivos estabelecidos.

Para alcançar os objetivos propostos deste artigo a metodologia contemplará as seguintes etapas Fig.1.

Figura 1 – Metodologia

Leitura do projeto de pesquisa do CDTN	⇨	Revisão de literatura	⇨	Análise	⇨	Recomendações

Fonte: dos autores

3. RESULTADOS

Toda instituição seja ela com ou sem fins lucrativos ou órgão do governo existe para gerar valor para as partes interessadas. Essas organizações enfrentam riscos e o desafio é determinar o nível de risco que ela está preparada para enfrentar na

medida em que empenha para aumentar o seu valor. O gerenciamento de riscos possibilita as instituições a tratarem com eficácia os riscos e as oportunidades a eles associados de forma a otimizar seus recursos.

O principal objetivo do gerenciamento de riscos é a criação e proteção de valor. Ele melhora o desempenho, a inovação e dá suporte ao alcance das metas. Desta forma, o gerenciamento de riscos corporativos [7] é um processo conduzido em uma organização pelo conselho de administração, diretoria e demais empregados, aplicado no estabelecimento de estratégias, formuladas para identificar em toda a organização eventos em potencial, capazes de afetá-la, e administrar os riscos de modo a mantê-los compatível com o apetite a risco da organização e possibilitar garantia razoável do cumprimento dos seus objetivos.

O projeto em andamento irá abarcar os seguintes componentes [8]:

i. Ambiente Interno: o ambiente interno compreende o tom de uma organização e fornece a base pela qual os riscos são identificados e abordados pelo seu pessoal, inclusive a filosofia de gerenciamento de riscos, o apetite a risco, a integridade e os valores éticos, além do ambiente em que estes estão.

ii. Fixação de Objetivos: os objetivos devem existir antes que a administração possa identificar os eventos em potencial que poderão afetar a sua realização. O gerenciamento de riscos corporativos assegura que a administração disponha de um processo implementado para estabelecer os objetivos que propiciem suporte e estejam alinhados com a missão da organização e sejam compatíveis com o seu apetite a riscos.

iii. Identificação de Eventos: os eventos internos e externos que influenciam o cumprimento dos objetivos de uma organização devem ser identificados e classificados entre riscos e oportunidades. Essas oportunidades são canalizadas para os processos de estabelecimento de estratégias da administração ou de seus objetivos.

iv. Avaliação de Riscos: os riscos são analisados, considerando-se a sua probabilidade e o impacto como base para determinar o modo pelo qual deverão ser administrados. Esses riscos são avaliados quanto à sua condição de inerentes e residuais.

v. Resposta a Risco: a administração escolhe as respostas aos riscos - evitando, aceitando, reduzindo ou compartilhando – desenvolvendo uma série de medidas para alinhar os riscos com a tolerância e com o apetite a risco.

vi. Atividades de Controle: políticas e procedimentos são estabelecidos e implementados para assegurar que as respostas aos riscos sejam executadas com eficácia.

vii. Informações e Comunicações – as informações relevantes são identificadas, colhidas e comunicadas de forma e no prazo que permitam que cumpram suas responsabilidades. A comunicação eficaz também ocorre em um sentido mais amplo, fluindo em todos níveis da organização.

viii. Monitoramento: a integridade da gestão de riscos corporativos é monitorada e são feitas as modificações necessárias. O monitoramento é realizado através de atividades gerenciais contínuas ou avaliações independentes ou de ambas as formas.

O grau de eficácia do gerenciamento corresponde à presença e eficácia do funcionamento desses oito componentes citados. Desse modo, esses componentes são critérios objetivos para o gerenciamento eficaz de riscos. Este estudo irá propor à equipe responsável pelo projeto de pesquisa das centrais nucleares do programa nacional a inclusão dos oito componentes de gestão de risco como parte do processo de licenciamento nuclear e ambiental. Esses componentes devem fazer parte dos critérios exigidos no processo de licenciamento nuclear com o objetivo de garantir melhorias continuas de segurança e de gerenciamento de riscos.

4. CONCLUSÕES

A análise de segurança tornou-se uma parte importante dos requisitos de licenciamento das instalações nucleares e radioativas no Brasil. Com a finalidade de prevenir e mitigar acidentes, várias técnicas analíticas e estatísticas devem ser combinadas, a fim de estimar a probabilidade de ocorrência de eventos indesejáveis e a magnitude das consequências.

O gerenciamento de riscos não é um processo em série, mas sim um processo multidirecional, isto é, um componente não afeta somente o próximo, mas sim a quase

a sua totalidade. A gestão de risco permite detalhar os componentes, incentivando o exame de dados de eventos passados, presentes e futuros em potencial.

No que se trata de centrais nucleares o licenciamento ambiental é documento exigível e obrigatório por se tratar de instalações potencialmente poluidoras.

Por este motivo, conclui-se a recomendação da inclusão no projeto dos oito componentes de gerenciamento de risco como instrumento impreterível para o licenciamento ambiental e nuclear de centrais nucleares e instalações radioativas.

AGRADECIMENTO

As seguintes instituições apoiaram este trabalho: Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

[1] International Atomic Energy Agency – IAEA. Lessons learned from accidents in industrial irradiation facilities. Vienna. 1996.

[2] Mesquita, A.Z. Investigação Experimental da Distribuição de Temperaturas no Reator Nuclear de Pesquisa Triga IPR-R1. Tese Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Unicamp. 2005.

[3] Comissão Nacional de Energia Nuclear – Cnen. Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro. Rio de Janeiro. 2014.

[4] Brasil. Resolução 237 do Conama. 1997. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acessado em 21.08.2014.

[5] Comissão Nacional de Energia Nuclear – Cnen. Licenciamento de Instalações Nucleares. Norma CNEN NE 1.04. Resolução CNEN 15/02. 2002.

[6] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; International Organization for Standardization - ISO. Gestão de riscos — Princípios e diretrizes, *Risk management – Principles and guidelines*. ABNT NBRISO 31000. 2009

[7] FM2S – Educação e Consultoria. Engenharia de Confiabilidade: o que é e qual sua função?. Disponível em <https://www.fm2s.com.br/engenharia-de-confiabilidade/>. Acessado em 27.08.2014.

[8] Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission – Coso. Gerenciamento de Riscos na Empresa – Estrutura Integrada: Sumário Executivo e Estrutura; *Integrated Framework: Application Techniques*. 2 vol. Nova Jersey. 2007.

CAPÍTULO 18

ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO DE EFLUENTE USANDO ACONCHA DO MEXILHÃO DOURADO (*LIMNOPERNA FORTUNEI*) COMO UM MATERIAL DE BAIXO CUSTO

Daniel Mantovani
Pós doutor em Engenharia Urbana
Instituição: Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional
Endereço: Av. Paranavaí, 1164 - Parque Industrial Bandeirantes, Maringá, PR
E-mail: daniel26mantovani@gmail.com

Luís Fernando Cusioli
Doutorando no programa de pós-graduação em Engenharia Química
Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil, CEP 87020-900
E-mail: luiscusioli@gmail.com

Gabriel Xavier Jorge
Engenheiro Civil
Instituição: Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional – FEITEP
Endereço: Av. Paranavaí, 1164 - Parque Industrial Bandeirantes, Maringá - PR
E-mail: gabrielxavierjorge@gmail.com

Grace Anne Vieira Magalhães Ghiotto
Doutoranda em Biotecnologia Ambiental
Instituição: Universidade Estadual de Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil
E-mail:gvieiramagalhaes@gmail.com

Rosângela Bergamasco
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil,
E-mail: ro.bergamasco@hotmail.com

Marcelo Fernandes Viera
Pós doutor em Tratamentos e Aproveitamento de Rejeitos
Instituição:Universidade Estadual de Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná
E-mail: marcelofvieira@hotmail.com

Laiza Bergamasco Beltran
Mestranda em Ciências de Alimentos
Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil
E-mail: laizabeltran@hotmail.com

RESUMO: O mexilhão dourado é uma espécie originária da China, que se espalhou pela Ásia e América, causando vários impactos econômicos, bem como um desequilíbrio ecológico. Globalmente, a aplicação das espécies invasoras foi

investigado para mitigar os problemas causados, e o presente trabalho avalia o uso da casca de mexilhão dourado na remoção do azul de metileno de águas contaminadas. O material era caracterizado pela análise de microscopia eletrônica de varredura, fluorescência de raios-X, transformada de Fourier espectroscopia de infravermelho e potencial zeta, indicando características favoráveis para a adsorção de poluentes. Quanto aos estudos de adsorção, foi verificado o ajuste do modelo de pseudo-primeira ordem, resultando em capacidade de adsorção de 26,4 mg g^{-1} no tempo de equilíbrio de 300 min e 0,03 g de adsorvente. O modelo de Henry foi aplicado a 25 ° C, 35 ° C e 45 ° C, indicando o efeito favorável de aumento da temperatura. Assim, observa-se o potencial da utilização deste material como adsorvente de águas contaminadas.

PALAVRAS-CHAVE: Mexilhão dourado; *Fortuna Limnoperna*; Adsorção; Azul de metileno; Efluente.

1. INTRODUÇÃO

A poluição da água ocorre quando produtos químicos, como fertilizantes, corantes, pesticidas e derivados de petróleo atingem a água corpos. Essas substâncias são encontradas em efluentes, devido à inadequação tratamento, e são produzidos em atividades antrópicas tais como agricultura e atividades industriais e domésticas (CRINI, 2008). As atividades industriais são as maiores consumidoras de água e, consequentemente, produz uma quantidade considerável de efluente que precisa de tratamento adequado antes de ser lançado no meio ambiente. Os têxteis, papel e celulose e polímero indústrias usam diversos tipos de corantes em seus produtos (CRINI, 2001), o lançamento desses efluentes não afetam apenas o estética do ambiente, mas também a infiltração da luz solar em a superfície da água, o que leva a uma redução da fotossíntese atividade. Desta forma, este processo causa vários impactos aos organismos aquáticos devido à insuficiência de oxigênio (NAMASIVAYAM, 2001).

O azul de metileno (AM) é um corante catiônico amplamente utilizado em atividadesantrópicas nas indústrias têxteis. Quando ingerido, AM produz uma sensação de queimaçãoe pode causar náuseas, vômito, diarreia e gastrite. No ambiente, AM tem vários efeitos prejudiciais quando presente na água corpos (MA, 2004)]. Desta forma, é possível enfatizar a importância de realizar o tratamento de efluentes industriais para remoção AM e outros corantes. O tratamento visa prevenir que o os poluentes do efluente chegam aos corpos d'água e, portanto, prevenir a deterioração ambiental e a saúde humana danos. As metodologias de remoção que visavam o tratamento de efluentes contaminados por AM são coagulação / floculação, fotocatálise, foto-Fenton, eletro-Fenton e adsorção (SUMALINOG, 2019).

A adsorção é considerada um processo de tratamento promissor devido ao seu baixo custo, design simples e fácil operação. No entanto, para o tratamento de efluentes, o material adsorvente deve apresentar características de alta térmica e resistência física, bemcomo afinidade com a substância a ser adsorvido, escolhendo assim o adsorvente dependente de uma série de fatores. Portanto, o material deve ter alta disponibilidade de sites de adsorção e uma grande quantidade de carbono e oxigênio. A diversidade de matérias-primas que podem ser usados no desenvolvimento de adsorventes torna-o interessante para explorar a biomassa residual, e este conceito levou ao popularidade do termo 'adsorventes de baixo custo'

(AZZAZ, 2017).

Neste estudo, optamos por produzir um adsorvente de baixo custo da casca do mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*). O mexilhão dourado é um invasor de água doce generalizado mexilhão da China e se espalhando de forma invasiva para muitos asiáticose países da América do Sul pela descarga de lastro de navios água contendo altas concentrações de larvas de mexilhão (OLIVEIRA, 2011). Invade facilmente as instalações de transferência de água e anexa em paredes de concreto e estruturas com estruturas extremamente densidade, resultando em incrustação biológica, corrosão da estrutura, tuboentupimento, diminuição da eficiência de transferência de água, poluição da água, e outrasdesvantagens, e se tornou um prevalente problema que está causando preocupação global(YAO, 2017). Este mexilhão vem causando muitos prejuízos devido à sua incrustação no vaso cascos, tanques e redes de pesca. Várias tentativas de eliminar os mexilhões dourados ficaram frustrados, então a melhor proposta em a visão do pesquisador éencontrar usos possíveis para esta invasão molusco às atividades produtivas (WACHHOLZ,2017).

Atualmente, conchas de diferentes espécies de mexilhões são sendo usado para remover metais pesados e corantes têxteis de água contaminada (HADDAD, 2014). No entanto, não se sabe de relatos que usam na biomassa natural do mexilhão dourado concha(*Limnoperna fortunei*) como material adsorvente de água poluente. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção do corante AM do aquoso amostras usando a biomassa de *Limnoperna fortunei* como um baixo custo adsorvente.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Preparação do adsorvente da casca do mexilhão dourado

A casca do mexilhão dourado foi obtida na Usina Hidrelétrica de Rosana, São Paulo,Brasil. O geográfico as coordenadas da usina hidrelétrica são 22 ° 36′07 ″ S e 52 ° 52 20 ″ W. Em primeiro lugar, as cascas foram lavadas manualmente com água da torneira por 30min em temperatura ambiente. O processo de lavagem foi repetido 6 vezes para remover impurezas solúveis em água. Então, as cascas foram secas em uma incubadora com circulação de ar (SXCR 42, Sterilifer ©, Brasil) a 80 ° C por 24 h. Depois disso, as conchasforam moídas usando um liquidificador e peneirado em

diferentes tamanhos de malha em um tipo de agitador (Bertel). Para os experimentos, a partícula média tamanho de 600 μm foi escolhido como o tamanho de partícula no qual a maioria das partículas foi retida.

2.2 Caracterização do adsorvente

As características morfológicas da superfície do adsorvente de casca de mexilhão dourado (GMA) foram avaliados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com o auxílio de um Quanta Microscópio FEI, modelo 250, operando a 25 kV. Por esta análise, as amostras foram cobertas com ouro em uma espessura de aproximadamente 30 nm. O potencial zeta foi medido usando uma amostra com 0,05 g de adsorvente em 50 mL de água usando um Delsa ™ NanoC por equipamento Beckman Coulter (TM). O pH foi medido usando um medidor de pH (medidor de bancada OrionTM Versa Star, Thermo ScientificTM,EUA). O pH foi ajustado de 3 a 12, com HCl 0,1 M e / ou NaOH 0,1 M. Para caracterizar osgrupos funcionais presentes na casca de mexilhão dourado, infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) espectrômetro (PerkinElmer Spectrum100, EUA). Os comprimidos foram preparados misturando amostras de pó com KBr (Sigma-Aldrich) na proporção de 1: 100 (p / p). O espectral a faixa variou de 4.000 a 400 cm^{-1}. A análise de fluorescência de raios-X (FRX) do ouro casca de mexilhão empregou um espectrômetro modelo Bruker S8 Tiger 4 kW. Para esta análise, 1,0 g das amostras de solo foram misturados com 20 g de ácido bórico em um almofariz de ágata e, após homogeneização, 7,0 g da mistura foi comprimida em uma pelota antes da análise.

2.3 Adsorção de am

A adsorção de AM usando casca de mexilhão dourado foi conduzida em um sistemafechado e em lote. Os experimentos foram realizados com 25 mL de amostras de solução AM preparadas em uma concentração de 50 mg L^{-1} em água destilada em Erlenmeyer frasco com rolha. Os frascos foram agitados em um shaker (QUIMIS® 0022MI, Brasil) a 150 rpm, em temperatura ambiente, por 24 h. Os ensaios de adsorção foram realizados com diferente massa adsorvente: 0,03, 0,05, 0,1, 0,2 e 0,4 g. As amostras foram coletadasapós 24 h e, em seguida, filtradas através de um filtro de acetato de celulose (poro de 0,45μm de diâmetro) para remova o adsorvente. Após

a filtragem, a amostra foi então medida por um espectrofotômetro UV-Vis (HACH DR 5000) em um comprimento de onda de 665 nm. Todos os ensaios foram realizados em duplicatas. A capacidade de adsorção de AM (mg g^{-1}) foi calculada usando a Eq. (1):

Na Eq. (1), C0 é a concentração inicial de AM (mg L^{-1}),Ct é a concentração de equilíbrio na solução (mg L^{-1}) no tempo t, V é o volume da solução (L), e m é sorvente massa (g). O estudo cinético foi realizado em lote com o adsorvente massa que resultou nomelhor qe, em contato com 25 mL de solução de 50 mg L^{-1} AM, mantida em velocidade de agitação de 150 rpm e temperatura controlada de 25 ° C. A Hora intervalos para retirada das alíquotas do analisado as amostras duraram 1-720 min, os frascos foram agitados como auxílio de uma mesa agitadora orbital após o tempo de contato, o AM final as leituras de concentração foram realizadas conforme descrito acima, usando um espectrofotômetro a 665 nm, e os testes foram realizado em duplicatas. Para explicar o mecanismo cinético, osdois mais conhecidos modelos foram aplicados aos dados experimentais: o pseudo-primeiro, ordem proposta por Lagergren (HO, 2004), e pseudo-segunda ordem de pedido, proposto por Ho e McKay (HO, 1999), que são apresentados pelas Eqs. (2) e (3), respectivamente.

Onde k_1 é a constante da taxa de adsorção de primeira ordem (min^{-1}) e qe e qt são as quantidades adsorvidas por g de adsorvente no equilíbrio e no tempo t, respectivamente(mg g^{-1}).

Onde k_2 é a constante da pseudo-segunda ordem taxa de adsorção (g mg^{-1} min^{-1}).

As isotermas de equilíbrio foram obtidas em temperaturas de 25 ° C, 35 ° C e 45 ° C. Os testes foram realizados com Concentração de AM de 5 a 200 mg L^{-1} que variou em um volume de solução de 25 ml. As amostras foram agitadas em um tremor incubadora (modeloTE-4200 TECNAL) a 150 rpm e o tempo de contato foi de 720 min. Uma aplicação da constante de Henry foi realizada. A isotérmica de Henry é um modelo de isotérmica adsorvente linear em que a quantidade de adsorvato de superfície é proporcional à concentração de adsorbato no fluido em equilíbrio condições (AYAWEI, 2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do adsorvente

A Figura 1 mostra as imagens MEV da concha do mexilhão dourado com ampliaçãode 5.000 ×. O MEV da amostra mostrou que a morfologia não tinha forma regular e tamanhoe heterogeneidade de poros apresentada.

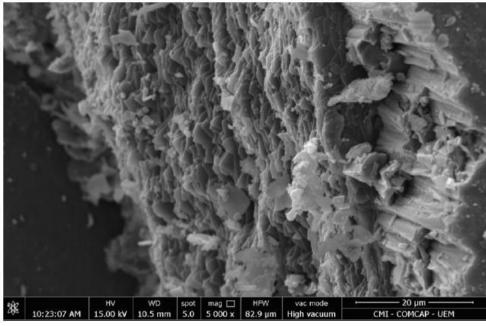



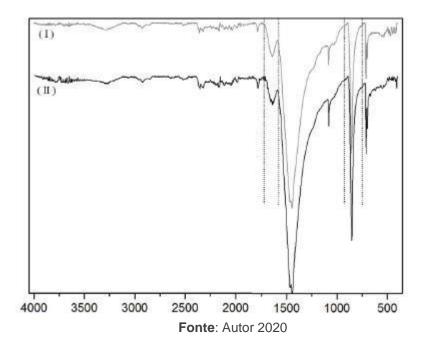
Figura 1 – Estrutura morfológica da concha do mexilhão dourado

Fonte: Autor 2020.

As amostras apresentava superfície irregular com poros abertos, sendo favorável à capacidade de adsorção do adsorvente.

A figura 2 mostra a análise de FTIR onde os grupos funcionais presentes na casca do mexilhão dourado foram determinados antes e depois da adsorção de AM.

Figura 2 – Espectros FTIR da casca do mexilhão dourado antes e depois da adsorção de AM

Fonte: Autor 2020

É visto que o espectro da casca do mexilhão dourado mostrou uma banda de transformação de Fourier característica em 1.483 cm^{-1}, que foram atribuídas à ligação C–O dos grupos carbonato presentes em abundância na casca. A banda larga em 3.279 cm^{-1} indicou a presença de ligações de hidrogênio (OH) devido às moléculas de água adsorvidas na superfície da casca do mexilhão dourado. O pico presente na região de 2.923cm^{-1} indicou a presença de uma ligação C–H devido à composição proteica do adsorvente [26]. Vibrações observadas na faixa de 1.647, 1.448 e 850 cm^{-1} referem-se a ligações de CO carbonato fora do plano e em 713 cm^{-1} de flexão plana, bem como as vibrações detectadas em 1.780 e 1.082 cm –1 relacionado às ligações CO do carbonato íons. Finalmente, as vibrações encontradas no comprimento de onda de 536 cm^{-1} foram atribuídas à ligação Ca–O também presente na estrutura da casca do mexilhão (ARAUJO, 2018). Em relação às vibrações detectadas na casca do mexilhão adsorvido com AM, foi possível afirmar que não houve mudança significativa em relação à casca do mexilhão nãoadsorvido, no entanto, é possível detectar menos mudanças na faixa de comprimento de onda de 1.729 a 1.585 cm^{-1}e um deslocamento da banda de vibração entre a faixa de 890 a 750 cm^{-1} que são vibrações relacionadas ao C–O, ligação de carbonatos. A partir da análise do FRX, foi possível afirmar que havia uma quantidade significativa de compostos inorgânicos presentes na estrutura da casca do mexilhão. Isto foi confirmado com a análiseFRX que detectou uma grande proporção de óxidos e

outros materiais inorgânicos no material. Os resultados indicaram óxidos de cálcio e sílica como sendo a maioria das substâncias na estrutura da casca do mexilhão, respectivamente, 68,6% e 12,5%. Outros compostos foram encontrados em concentrações de traços ou não eram relevantes para este pesquisar. A análise do potencial zeta da casca do mexilhão dourado é demostrado na figura 3.

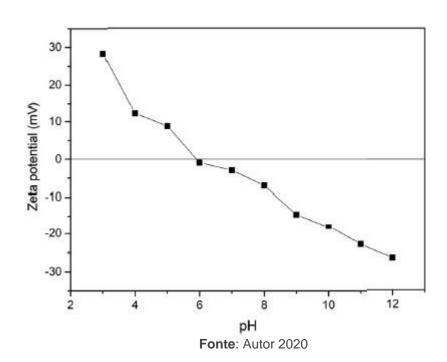



Figura 3 – Potencial zeta da casca do mexilhão dourado para diferentes pHvalores.

Fonte: Autor 2020

Os valores referentes à carga superficial vindo do potencial Zeta para o mexilhão dourado esmagado foram: 28,3, 12,2, 8,8, -0,9, -2,89, -6,97, -14,57, -17,57, –22,8 e –26,43 (mV) em pH variando de 3 a 12, respectivamente. a característica encontrada é principalmente devido à presença de grupos carbonato presente nas conchas.

Como AM é um corante catiônico, um adsorvente eletronegativo seria mais eficaz para remover AM do aquoso solução, desta forma o pH 6,03, que é o pH natural do A solução AM foi usada nos experimentos de adsorção. Nisso pH, a casca do mexilhão dourado é eletronegativamente carregada e não é necessário controlar o pH da adsorção processar.

3.2 Experimentos de adsorção

A figura 4 exibe os resultados da cinética de adsorção experimentos e os

ajustes da pseudo-primeira ordem e modelos de pseudo-segunda ordem para os dados obtidos para AM adsorção. O tempo de agitação variou de 1 a 3.000 min e 50 mg L^{-1} da solução AM foi usado em pH 6,03, como previamente estabelecido. Os parâmetros do modelo cinético ajustados aos dados experimentais são mostrados na Tabela 1.

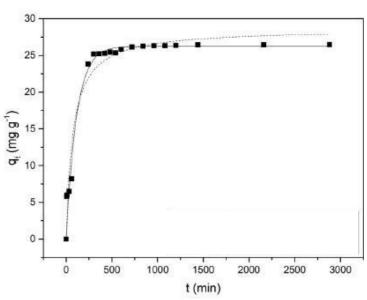



Figura 4 – Dados cinéticos experimentais e ajuste da capacidade de adsorção de AM pela cochado mexilhão dourado.

Fonte: Autor 2020

Pode ser visto na figura 4 que a adsorção AM não mudar após 300 min, alcançando assim o estado de equilíbrio com concentração constante em, aproximadamente, 26,4 mg g^{-1}. De acordo com Lonappan et al. 2016, estudou a adsorção AM usando carvão ativado sintetizado a partir de três resíduos diferentes (Tronco de pinus, esterco de porco e papel).Os autores determinaram a capacidade de adsorção de AM nestes carbonos como 1,32, 4,87 e 5,01 mg g^{-1}, respectivamente, mostrando que o ouro a casca do mexilhão teve uma capacidade maior quando comparada. Vale destacar que, neste trabalho, o mexilhão dourado as conchas não sofreram modificações antes do processo de adsorção.

Tabela 1 – Modelos cinéticos para adsorção de AM

Modelos	Parâmetros	MOM-Fe_3O_4
	qe (mg g^{-1})	26,261
Pseudo-primeira ordem	k1 (min^{-1})	0,009
	R^2	0,970
	χ^2	2,503
	qe (mg g^{-1})	28,620
Pseuda-segunda ordem	k2 (g mg^{-1} min^{-1})	4,721
	R^2	0,958
	χ^2	3,553

Fonte: Autor 2020.

Em relação aos parâmetros dos modelos cinéticos mostrados em Tabela 1, modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem apresentou valores de R^2 maiores que 0,950.No entanto, analisando a capacidade de adsorção calculada e a estatística χ^2, verificou-se que o modelo de pseudo-primeira ordem melhor ajustou os dados experimentais. Este modelo indica que o a adsorção de AM ao longo do tempo é diretamente proporcional a diferença na concentração de saturação de AM e o locais ativados disponíveis na superfícieda concha do mexilhão.

4. CONCLUSÃO

A presença de contaminantes como o AM em efluentes descarregado no meio ambiente é uma grande preocupação devido a problemas ambientais e de saúde. Nesse sentido, este artigo teve como objetivo produzir um adsorvente de baixo custo a partir de mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) concha, um espécime invasivo, para remover o AM de soluções aquosas. Dos resultados coletados de FTIR, espectroscopia de raios-X dedispersão de energia e FRX, não foi possível afirmar que a casca do mexilhão dourado composição predominante de óxidos, característica deste ser vivo. Em relação à adsorção do processo AM, foi possível remover grandes quantidades de AM com uma massa baixa de biossorvente.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, L.A. Bezerra, C.O. Cusioli, L.F. M.F. Silva, L. Nishi, R.G. Gomes, R. Bergamasco, **Moringa oleifera biomass residue for the removal of pharmaceuticalsfrom water**, J. Environ. Chem. Eng., 6 (2018) 7192–7199.

AYAWEI, N. A.N. Ebelegi, D. Wankasi, **Modelling and interpretation of adsorption isotherms,** J. Chem., 2017 (2017) 1–11.

AZZAZ, A.A. Jellali, S. Akrout, Assadi, H, **Optimization of a cationic dye removal by achemically modified agriculture by-product using response surface methodology:biomasses characterization and adsorption properties**, Environ. Sci. Pollut. Res., 24(2017) 9831–9846.

CRINI, G, BADOT P.M, **Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies:a review of recent literature**, Prog. Polym. Sci., 33 (2008) 399–447.

CRINI, G, **Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review**, Bioresour. Technol., 97 (2006) 1061–1085.

HADDAD, M. El A. Regti, M.R. Laamari, R. Slimani, R. Mamouni, S. El Antri, S. Lazar, **Calcined mussel shells as a new and eco-friendly biosorbent to remove textile dyesfrom aqueous solutions**, J. Taiwan Inst. Chem. Eng., 45 (2014) 533–540.

HO, Y.S. G. McKay, **Pseudo-second-order model for sorption processes**, ProcessBiochem., 34 (1999) 451–465.

HO, Y.S. Citation review of Lagergren kinetic rate equation on adsorption reactions, Scientometrics, 59 (2004) 171–177.

LONAPPAN, L. T. Rouissi, R. Kumar, S.K. Brar, A. Avalos, M. Verma, R.Y. Surampalli,
J.R. Valero, **Adsorption of methylene blue on biochar microparticles derived fromdifferent waste materials,** Waste Manage., 49 (2016) 537–544.

MA, Y.L. Z.R. Xu, T. Guo, P. You, **Adsorption of methylene blue on Cu(II)-exchangedmontmorillonite,** J. Colloid Interface Sci., 280 (2004) 283–288.

NAMASIVAYAM, C. R. Radhika, S. Suba, **Uptake of dyes by a promising locally available agricultural solid waste: coir pith**, Waste Manage., 21 (2001) 381–387.
OLIVEIRA, M.D. D.F. Calheiros, C.M. Jacobi, S.K. Hamilton, **Abiotic factors controllingthe establishment and abundance of the invasive golden mussel *Limnoperna fortunei***, Biol. Invasions, 13 (2011) 717–729.

SUMALINOG, D.A.G. S.C. Capareda, M.D.G. de Luna, **Evaluation of the effectiveness and mechanisms of acetaminophen and methylene blue dye adsorption on activatedbiochar derived from municipal solid wastes**, J. Environ. Manage., 210 (2018) 255– 262.

YAO, G.Y. M.Z. Xu, X.H. An, **Concrete deterioration caused by freshwater musselLimnoperna fortunei fouling**, Int. Biodeterior. Biodegrad., 121 (2017) 55–65.

WACHHOLZ, L. R.V. Nunes, J. Broch, C. De Souza, **Possibilidade do uso de MexilhãoDourado contaminado com metais tóxicos em dietas para frangos de corte**, Rev. ColoAM. Ciência Anim., 9 (2017) 227–235.

CAPÍTULO 19

DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO MATERIAL ADSORVENTE UTILIZANDO AS CASCAS DAS SEMENTES DE *Moringa oleifera* Lam. FUNCIONALIZADAS COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE FERRO PARA REMOÇÃO DE METFORMINA DE ÁGUAS CONTAMINADAS

Luís Fernando Cusioli
Doutorando no programa de pós-graduação em Engenharia Química
Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil
E-mail: luiscusioli@gmail.com

Heloise Beatriz Quesada
Doutoranda em Engenharia Química
Instituição:Universidade Estadual de Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil
E-mail: heloisequesada@gmail.com

Daniel Mantovani
Pós doutorado em Engenharia Urbana
Instituição: Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional – FEITEP
Endereço: Av. Paranavaí, 1164 - Parque Industrial Bandeirantes, Maringá - PR
E-mail: daniel26mantovani@gmail.com

Jean Paulo Silva Natal
Doutorando em Biotecnologia Ambiental
Instituição: Universidade Estadual de Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil
E-mail: jeanpsnatal@gmail.com

Raquel Guttierres Gomes
Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos
Instituição: Universidade Estadual de Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil
E-mail: rggomes@gmail.com

Rosângela Bergamasco
Doutorado em Engenharia Química Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil
E-mail: ro.bergamasco@hotmail.com

Laiza Bergamasco Beltran
Mestranda no programa de Pós-graduação em Ciências de Alimentos Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Endereço: Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil
E-mail: laizabeltran@hotmail.com

RESUMO: O uso de fármacos em todo o planeta vem aumentando, e consequentemente a ocorrência da sua presença em diferentes níveis de detecção em águas subterrâneas e superficiais vem tornando sérios problemas ambientais. Assim torna-se necessário a remoção desses poluentes, e dentre os possíveis métodos a adsorção se destaca, devido a sua natureza universal, por ser um método de baixo custo e facilidade de operação. Nesse sentido o objetivo do presente trabalho é estudar a capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de fármacos a partir do desenvolvimento de um novo material adsorvente utilizando as cascas das sementes de *Moringa oleifera* Lam. funcionalizada com nanopartículas de óxido de ferro. O material desenvolvido foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectroscopia de energia dispersiva e microscopia eletrônica de transmitância. Essas análises demostraram boas propriedades para que ocorra o processo de adsorção. Resultados preliminares utilizando metformina relataram se que o estudo cinético foi utilizado 0,03g do novo biossorvente, em agitação de 150 rpm em pH 7, alcançando a estabilidade em 720 minutos, alcançando 93,6 % de remoção e os dados experimentais ajustados foram ajustados em pseudo-primeira ordem. Com isso o novo material desenvolvido terá provavelmente uma boa interação na remoção de outros fármacos presentes em água contaminadas.

PALAVRAS-CHAVE: Cascas das sementes de *Moringa oleifera* Lam.; fármacos; adsorção; nanopartículas.

1. INTRODUÇÃO

As últimas décadas, a ocorrência de micropoluentes no ambiente aquático passou a ser uma questão de grande preocupação mundial. Os micropoluentes, também denominados contaminantes emergentes, consistem em uma vasta quantidade de substancias de origem antrópica ou natural. Esse grupo inclui produtos químicos industriais, agrotóxicos, hormônios e esteroides, produtos de higiene pessoal e os fármacos. Os contaminantes emergentes estão comumente presentes nos corpos hídricos em concentrações baixas, podendo variar de ng L^{-1} a µg L^{-1}. Essa baixa concentração e a diversidade dos compostos não só complicam os procedimentos de detecção e análise, como também dificultam os processos de tratamento de águas resíduas e tratamento de água para abastecimento (LUO et al., 2014).

Os produtos oriundos das empresas farmacêuticas vêm se tornando um grande problema para o ambiente, pois conseguem alcançar de várias formas diferentes e consequentemente contaminando. A forma principal é por meio dos efluentes domésticose hospitalares, após serem consumidos. Pois o que não é metabolizado no corpo humano ou dos animais é excretado por via real ou fezes, fazendo com que alcancem as estações de tratamento de esgoto por via dos seres humanos, podendo esses fármacos sofrer algum tipo de transformação, esses compostos não são removidos nos tratamentos convencionais, e são diretamente despejados como efluentes em corpos hídricos. Os produtos veterinários são excretados por meio do estrume dos animais nos campos e consequentemente entram em contato com lagos, lagoas, riachos e rios (RIVERA-UTRILLA *et al.,* 2013). Sabendo que as ocorrências de resíduos de fármacos em águas residuais são relatadas em concentrações baixas, sua presença na vida aquática e terrestre é extremamente prejudicial, pois não se sabe determinar quais são os efeitos em longos prazos (PATEL *et al.,* 2019).

Sabe-se que tratamentos convencionais não são eficientes na remoção de produtos farmacêuticos, incluindo a metformina e consequentemente encontra-se em perfeito estado em ambientes aquáticos (AHMED *et al.,* 2017). Portanto muitos estudos de tratamentos terciários estão sendo estudados que excelentemente removam os fármacos de efluentes e águas de abastecimento, esses tratamentos são:

fotocatálise, separação por membranas, osmose reversa, ozonização e adsorção (GEHRKE, *et al.*, 2015).

A adsorção é um método eficiente e confiável é basicamente a acumulação de uma substância na superfície de um adsorvente sólido, as vantagens de utilização, estão na natureza universal, baixo custo e facilidade de operação (ALI *et al.,* 2012). Quando o material adsorvente é proveniente de material biológico, o processo pode ser denominado biossorção, os resíduos agroindustriais tem sido avaliados com grande frequência por terem uma grande quantidade de grupos funcionais que favorecem a biossorção (ZAFAR *et al.,* 2015). Tendo em vista a tal constatação, é possível enquadrar a casca da semente de *Moringa oleifera* Lam. como um biossorvente.

A *Moringa oleifera* Lam. é uma planta de porte médio, de origem da Índia, existe vários estudos trabalhando com várias partes da planta para vários tipos de estudos. Suas sementes têm sido frequentemente utilizadas como coagulantes no tratamento de água, e as cascas indicaram alto potencial das cascas na remoção de poluentes em soluções aquosas, tais como metais e compostos orgânicos (AKHTAR *et al.,* 2007; ARAÚJO *et al.,* 2013; REDDY *et al.,* 2011).

As nanopartículas metálicas são uma classe de nanopartículas que podem ser manipuladas com a utilização de um campo magnético, suas vantagens são o alto número de locais ativos de superfície, uma grande área de superfície e altas propriedades magnéticas, que causam alta eficiência de adsorção, alta taxa de remoção de contaminantes, separação rápida e fácil por meio de campo magnético. Dentre os vários materiais magnéticos utilizados, as nanopartículas de óxido de ferro estão sendo amplamente utilizadas por possuir altas capacidades de adsorção e propriedades magnéticas (ALI *et al.,* 2016).

2. MATERIAS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em duas etapas: 1) desenvolvimento e preparo do novo adsorvente e suas caracterizações e 2) estudo do processo de adsorção para remoção de fármacos de soluções aquosas. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental (LGCPA) no Departamento de Engenharia Química (DEQ), da Universidade Estadual de Maringá (UEM) - campus sede.

2.1 Preparo das cascas das sementes de *Moringa oleifera* Lam.

As sementes saudáveis de *Moringa oleifera* Lam. foram adquiridas da Universidade Federal de Sergipe, em Aracajú — SE. Foram selecionadas sementes de boa qualidade e as cascas retiradas manualmente e trituradas em liquidificador industrial (Poli LS04MB). Após a separação, as cascas foram lavadas com água deionizada para remover asimpurezas grosseiras presentes e foram secas em estufa micro processada com circulaçãode ar (Temporizador Digital SX CR/42) a 105 ºC durante 12 horas.

2.2 Tratamento químico e térmico das cascas das sementes

As cascas in natura foram submetidas a um tratamento químico, a qual se manteve em contato com o álcool metílico (CH3OH) 0,1M por 4 horas na relação m/v de 1:5 sob agitação constante e temperatura ambiente, com auxílio de agitador mecânico (Fisatom 713D). Após esse período, realizou-se lavagem com água deionizada à temperatura ambiente. Logo após, as cascas ficaram em contato com ácido nítrico (HNO3) 0,1M por 1 hora, na relação m/v de 1:5 sob agitação constante e temperatura. Novamente as cascas foram secas em estufa de ar a 105 ºC por 12 horas. A finalidade desse tratamento foi remover matérias orgânicas e inorgânicas indesejáveis da superfície do adsorvente. Após o tratamento químico, foi realizado o tratamento térmico do material utilizando um forno mufla (Forno Jung 10.012) a 300 ºC por uma hora. Após o processo térmico o biossorventefoi colocado em dessecador até atingir temperatura ambiente. O intuito do tratamento térmico é aumentar a área superficial (AKHTAR *et al.*, 2007).

2.3 Desenvolvimento do novo material funcionalizado com nanopartículas de óxido de ferro

Após o processo de preparo da MOM. O novo material foi desenvolvido a partir de sulfato ferroso (FeSO4) e de nitrato de ferro (Fe(NO3)) ambos foram dissolvidos separadamente em água deionizada em béquer de 50 mL com auxílio de agitador magnético por 20 minutos. Feito isso, em um béquer de 250 mL foi pesado uma massa de 2 gramas das cascas das sementes de Moringa oleifera Lam. MOM e despejado

as soluções de (FeSO4) e (Fe(NO3)) e completado o volume até 150 mL com água deionizada. Deixando em contato por 1 hora em agitador magnético.

Após o tempo de contato foi realizado o processo de coprecipitação no qual utilizou o material presente no béquer e com auxílio do pHmetro (Thermo Scientific) corrigiu o pH até atingir pH 11. Após a titulação o béquer foi colocado em cima do imã de neodímio até decantar por 10 minutos e descartado a água destilada. Feito isso novamente foi colocado água deionizada e o processo foi repetido por quatros vezes. Após esse processo o material foi seco em estufa de circulação de ar a 60 ºC por 12 horas.

2.4 Caracterização do novo material desenvolvido

Após o preparo do adsorvente e a separação no tamanho de partícula (tamanho selecionado 300 µm), foram utilizadas as técnicas para caracterizar o adsorvente quanto a sua composição morfológica e química. As técnicas utilizadas foram: Microscopia Eletrônicade Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).

2.5 Microscopia eletrônica de varredura acoplada aespectroscopia de energia dispersiva

O material foi analisado em microscopia eletrônica de varredura, utilizando o microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo, Quanta 250 — FEG (FEI Company). Para realização da analise as amostras foram recobertas com ouro a uma espessura de aproximadamente 30 nm. Equipado com o sistema de análise química tipo EDS (Oxiford) com software AZ Tech (Advanced) com detector tipo de deriva de silicone (SDD) de 80 mm^2.

2.6 Preparo da solução de metformina

A solução de metformina de 10 mg L^{-1} foram preparadas a partir do padrão (99% de pureza) da Sigma-Aldrich em água deionizada. As amostras foram homogeneizadas com auxílio de um agitador magnético e realizou as leituras de

concentração utilizou-se o espectrofotômetro UV-VIS (HACH DR 5000) a um comprimento de onde de 229 nm.

2.7 Ensaios preliminares de adsorção

Os ensaios preliminares foram realizados em batelada utilizando a metodologia adaptada de Akhtar *et al.* (2007). A concentração inicial de metformina de 10 mg L^{-1} foi proposta por Zhu *et al.* (2017) e a massa utilizada do adsorvente foi de 0,03 g. E as demais condições iniciais foram fixadas em:

Velocidade de agitação: 150 rpm;

Diâmetro de partículas: 300 e 600 µm;

Temperatura: 25 ± 1 °C;

pH natural da solução: 7.1 ± 0,5 °C;

Volume de solução: 30 mL;

Tempo: 24 horas.

As soluções foram colocadas em frascos de vidro com tampa rosqueável de 120 mL, nos quais também foi adicionado o adsorvente. Então os frascos foram agitados com auxílio da mesa agitadora orbital e após o tempo de contato a separação foi realizada com auxíliode um imã de neodímio e foram filtradas em membranas de acetado de celulose (Unifil) 0,45 µm. As leituras de concentração final foram feitas em espectrofotômetro (HACH DR 5000) no comprimento de onda de 229 nm. Todos os testes forma realizados em duplicatas.Com os resultados de concentração final de metformina, foram calculadas as capacidades de adsorção e a porcentagem de remoção, conforme apresentadas nas Equações 1 e 2:

Em que Co é a concentração inicial de metformina (mg L^{-1}), Ce é a concentração deequilíbrio da solução (mg L^{-1}) no tempo t, V é o volume de solução (L) e m a massa do adsorvente em (g).

2.8 Estudo de equilíbrio e cinético

Após a avaliação da melhor massa e pH a serem estudadas o estudo cinético e de equilíbrio foram realizados a partir de ensaios em batelada, nos quais foi utilizado a massa de 0,03 g do adsorvente em contato com 30 mL de metformina a 10 mg L^{-1},

mantidos em velocidade de agitação de 150 rpm, pH 7 e temperatura controlada de 25 ºC. Os intervalosde tempo para retiradas das alíquotas das amostras analisadas foram de 5, 20, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720, 900, 1080, 1260 e 1440 minutos, tempo necessário para que o equilíbrio fosse alcançado. As alíquotas foram filtradas e a concentração final de metformina foi determinada para o cálculo da capacidade de adsorção, todos os testes foram realizadosem duplicatas.

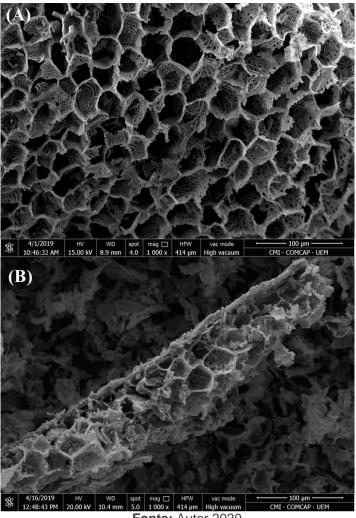
Para explicar o mecanismo cinético, aplicaram-se os dois modelos mais conhecidos aos dados experimentais, pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Microscopia eletrônica de varredura acoplada aespectroscopia de energia dispersiva

As amostras do material desenvolvido foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura onde se avaliou a estrutura morfológica do biossorvente. Na Figura 1 estão apresentadas as estruturas morfológicas.

Figura 1 – (A) Estrutura morfológica da Moringa oleifera Lam. tratada quimicamente etermicamente (B) Estrutura morfológica do novo material desenvolvimento

Fonte: Autor 2020.

A imagem de morfologia foi realizada em magnitude de 1000 x do material desenvolvido. Nota-se na que na Figura 1 (A) possui uma grande quantidade de cavidades de poros, sendo esses poros heterógenos podendo favorecer a capacidade de adsorção do biossorvente. Coldebella *et al.* (2017), relatam em seus estudos que o biossorvente proveniente de tratamento químico e térmico possui muitas cavidades abertas favorecendo no processo de adsorção. Reddy *et al.* (2010), afirmam que esses tipo de modificações são promissoras para adsorção de espécies químicas metálicas e de contaminantes orgânicos. Foi observado na Figura 1 (B) há presença de partículas aglomeradas possivelmente de α-Fe_2O_3 e agradadas de na estrutura do biossorvente. Mateus *et al.* (2018), em seus estudos utilizando extrato da semente de Moringa oleifera funcionalizado com óxido de ferro afirmar que esses aglomerados no material são as nanopartículas aderiras no material utilizado.

Acoplado com o microscópio eletrônico de varredura, existe a análise química tipo EDS (Oxiford) com software AZ Tech (Advanced) com detector tipo de deriva de silicone (SDD) de 80 mm^2 e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 2.

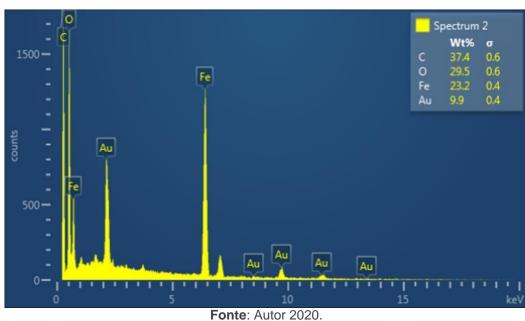



Figura 2 – (A) Estrutura morfológica da Moringa oleifera Lam. tratada quimicamente etermicamente (B) Estrutura morfológica do novo material desenvolvimento

Fonte: Autor 2020.

Observa-se na Figura 2 a composição do material biossorvente a presença de Carbono (C), Oxigênio (O), Ferro (Fe) e Ouro (Au) nas seguintes composições 37,4, 29,5, 23,2 e 9,9% respectivamente. Os picos dos elementos C e O são provenientes do material biossorvente, provavelmente da celulose e lignina da Moringa oleifera. Os picos de Fe obtido no EDS comprova que o elemento está aderido na superfície do biossorvente. Os picos de Au apresentados são referentes ao recobrimento do material analisado e consequentemente aparece no EDS.

3.2 Estudos preliminares

Esse estudo foi realizado verificar se novo adsorvente desenvolvido teria interação de remoção da metformina. Os resultados de capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de metformina utilizando o novo material desenvolvido estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Estudo preliminar do novo material desenvolvido para remoção de metformina

	Mesh 28 (600 µm)	
Massa de adsorvente (g)	qe (mg g^{-1})	Remoção (%)
0,03	4,67	62,04
	Mesh 48 (300 µm)	
Massa de adsorvente (g)	qe (mg g^{-1})	Remoção (%)
0,03	9,76	96,83

Fonte: Autor 2020.

Foram utilizados essas duas granulometria no estudo preliminar devido serem os maiores rendimentos no peneiramento. A peneira de Mesh 20 teve maior rendimento em relação à peneira Mesh 28, porém não foi selecionada, pois era a primeira peneira do conjunto e onde ficaram retida todas as partículas maiores que 850 µm. Na Tabela 1 observa-se que os estudos utilizando o adsorvente com o diâmetro médio 600 µm obteve- se capacidade de adsorção e porcentagem de remoção menor em relação quando se utilizou o adsorvente com o diâmetro médio 300 µm. Tal fato pode ser explicado porque o processo de adsorção é dependente a superfície externa do material, a área é aumenta com a diminuição das partículas (OUASIF *et al.,* 2013). Com isso os estudos subsequentes foram conduzidos utilizando a peneira de Mesh 28.

3.3 Estudo de equilíbrio e cinético de biossorção da metformina

É de grande importância o estudo de equilíbrio e cinético para o processo de adsorção, pois é através onde se estuda a capacidade de adsorção em relação ao tempo. Kabbashi *et al.* (2009), relatam que o estudo cinético é de grande importância para o processo de adsorção, pois é o estudo que avalia a remoção ou a capacidade de adsorção do contaminante em relação ao tempo. O gráfico com os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem estão representados na Figura 3.

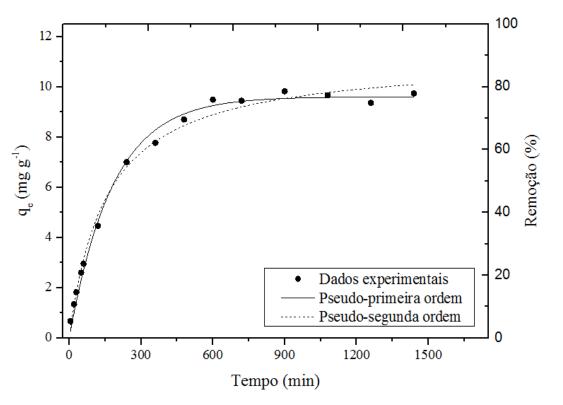



Figura 3 – Cinética de adsorção e estudo de equilíbrio da metformina utilizandoo material novo desenvolvido.

Fonte: Autor 2020.

Confirmou-se na Figura 3 que a capacidade de adsorção da metformina na fase inicial do processo aumentou rapidamente, sendo demostrado que os sítios ativos estão bem disponíveis inicialmente. Com o passar do tempo, a metformina foi removida a taxas menores da solução aquosa, alcançando a estabilidade em aproximadamente 720 minutos.Devido não haver uma variação significativa entre as capacidades de adsorção caracteriza-se que o estado de equilíbrio. Pois os sítios ativos vazios diminuíram dificultando que a molécula de metformina fosse adsorvida e impossibilitando a entrada de uma nova molécula (SALIHI e MAHRAMANLIOĞLU, 2014). Após a estabilidade, alcançou-se no estudo cinético, o valor máximo da capacidade de adsorção de 9,45 mg g^{-1} e a porcentagemde remoção de 93,9 %.

Após a construção do gráfico de capacidade de adsorção e porcentagem de remoção por tempo foram aplicados os modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Modelos cinéticos para biossorção de metformina

Modelos	Parâmetros	MOM-Fe_3O_4
Pseudo-primeira ordem	qe (mg g^{-1})	9,602
	k1 (min^{-1})	0,005
	R^2	0,993
	χ^2	0,087
Pseuda-segunda ordem	qe (mg g^{-1})	11,16
	k2 (g mg^{-1} min^{-1})	0,006
	R^2	0,991
	χ^2	0,111

Fonte: Autor 2020.

Verifica-se com os resultados apresentados na Tabela 2 que os valores do coeficiente de correlação (R^2) foram similares para o modelo de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem (R2 = 0,993 e 0,991) respectivamente, porém o valor de capacidade de adsorção calculada pelo modelo de pseudo-primeira ordem foi de 9,602 mgg^{-1}, concordou fortemente com o obtido experimentalmente 9,45 mg g^{-1}. Além disso, o valorde qui-quadrado (χ^2) foi menor (0,087). Portanto o modelo de pseudo-primeira ordem foi determinado para representar os dados experimentais indicando que a velocidade de remoção de metformina é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos (HO e MCKAY 1998, 1999).

4. CONCLUSÃO

Nesse estudo, foi avaliada a capacidade de adsorção e a porcentagem de remoção da metformina utilizando o novo material desenvolvido com a as cascas da semente modificadas e funcionalizadas com nanopartículas de óxido de ferro.

As caracterizações do biossorvente funcionalizados foram possíveis verificar pela MEV que o material possui superfície altamente porosa. A análise de EDS comprovou a presença de ferro na composição do novo material desenvolvido.

Nos ensaios preliminares determinaram a melhor granulometria de 300 µm. O estudode dosagem da concentração de adsorvente determinou a melhor dosagem de 1 g L^{-1}, na variação de pH foi estabelecido o pH 7. Com isso foi determinado as melhores condições para dar continuidade ao estudo.

Em relação ao estudo cinético foi determinado que o equilíbrio da adsorção acontecesse em 720 minutos, e o modelo que se melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de pseudo-primeira ordem.

REFERÊNCIAS

AHMED, Mohammad Boshir. **Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review**.Journal of Hazardous Materials, 2017.

AKHTAR, Mubeena. **Sorption potential of Moringa oleifera pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions**. Journal of Hazardous Materials, v. 141, n.3, p. 546–556, 2007.

ALI, Attarad **Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxidenanoparticles.** Nanotechnology, Science and Applications. 2016.

ARAÚJO, Cleide S T. **Characterization and use of Moringa oleifera seeds as biosorbent for removing metal ions from aqueous effluents.** Water Science and Technology, v. 62, n. 9, p. 2198–2203, 2010.

COLDEBELLA, Priscila Ferri. **Potential effect of chemical and thermal treatment on the Kinetics, equilibrium, and thermodynamic studies for atrazine biosorption by theMoringa oleifera pods.** The Canadian Journal of Chemical Engineering, v. 95, n. 5, p.
961–973, 2017.

GEHRKE, Ilka; GEISER, Andreas; SOMBORN-SCHULZ, Annette. **Innovations in nanotechnology for water treatment.** Nanotechnology, Science and Applications. 2015.

HO, Y. S.; MCKAY, G. **Pseudo-second order model for sorption processes.** Process Biochemistry, v. 34, n. 5, p. 451–465, 1999.

KABBASHI, Nassereldeen A. **Kinetic adsorption of application of carbon nanotubes for Pb (II) removal from aqueous solution.** v. 21, p. 539–544, 2009.

LUO, Yunlong. **A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment.** Science of theTotal Environment, v. 473–474, p. 619–641, 2014.

MATEUS, Gustavo Affonso Pisano; PALUDO, Michele Putti. **Obtaining drinking waterusing a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with Moringa oleifera seed extract.** Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018.

OUASIF, H.**Removal of a cationic dye from wastewater by adsorption onto naturaladsorbents.** Journal of Materials and Environmental Science, 2013.

PATEL, Manvendra. **Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: Chemistry, occurrence, effects, and removal methods.** Chemical Reviews. 2019.

REDDY, D. Harikishore Kumar. **Biosorption of Pb2+from aqueous solutions by Moringa oleifera bark: Equilibrium and kinetic studies.** Journal of Hazardous

Materials, v. 174, n. 1–3, p. 831–838, 2010.

RIVERA-UTRILLA, José. **Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review.** Chemosphere. 2013.

SALIHI, Elif Çalişkan; MAHRAMANLIOĞLU, Mehmet**. Equilibrium and kinetic adsorption of drugs on bentonite: Presence of surface active agents effect**. AppliedClay Science, v. 101, p. 381–389, 2014.

ZAFAR, Muhammad Nadeem. **Characterization of chemically modified biosorbents from rice bran for biosorption of Ni(II).** Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, v. 46, p. 82–88, 2015.

ZHU, Shuai. Adsorption of emerging contaminant metformin using graphene oxide. Chemosphere, 2017.

CAPÍTULO 20

UTILIZAÇÃO DE RADIAÇÃO UVC PARA DESINFECÇÃO DO AR NOS AMBIENTES

Eduardo Guy Perpétuo Bock
Doutor em Engenharia Mecânica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
E-mail: bock@ifsp.edu.br

Gustavo Neves Margarido
Mestre em Automação e Controle de Processos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
Doutorando em Energia
Universidade Federal do ABC – UFABC
E-mail: gnmargarido@ifsp.edu.br

Mauro Machado de Oliveira
Doutor em Ciências
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
E-mail: Mauro.mo@ifsp.edu.br

Pedro Fernando Poveda
Mestre em Automação e Controle de Processos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
Doutorando em ciências
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN
Universidade de São Paulo – USP
E-mail: poveda@ifsp.edu.br

Ridnal João do Nascimento
Mestre em Ciências
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP
E-mail: ridnal@ifsp.edu.br

Wesley Luzetti Fotoran
Doutor em Ciências
Universidade de São Paulo - USP
E-mail: wesley.fotoran@usp.br

RESUMO: O presente trabalho apresenta o projeto de um dispositivo e os testes realizados em um sistema de auxílio na prevenção de contaminações pelo Sars-Cov2 com a desinfecção do ar pela utilização de UVC como ação germicida. O sistema foi testado com E.colis e proporcionou no ar tratado uma visível taxa de inativação das colônias de bactérias aspergidas em sua entrada.

PALAVRAS-CHAVE: Desinfecção de ar; Radiação UVC; Sars-Cov2.

ABSTRACT: The present work presents the design of a device and the tests carried out in an system to prevent contamination by Sars-Cov2 with air disinfection by using

UVC as a germicidal action. The system was tested with E.colis and provided in the treated air a visible rate of inactivation of the colonies of bacteria sprayed at its entrance.

KEYWORDS: Air disinfection; UVC radiation; Sars-Cov2.

1. INTRODUÇÃO: A UTILIZAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA COMO GERMICIDA

Com a disseminação mundial do SARS-Cov-2 no começo do ano de 2020, e o posterior reconhecimento da OMS da situação de pandemia, um grande esforço mundial no combate à doença COVID-19 é empreendido, com a busca da diminuição de contágio nas diversas populações. Um dos meios observados de contágio da doença foi o contato respiratório com gotículas expelidas por pessoas que já estariam contaminadas pelo vírus, levando à preocupação da transmissão pelo ar e levando a estudos de possível contaminação em ambientes fechados, como uma pesquisa que concluiu o alto risco de contaminação pelo SARS-Cov-2 em viagens de trens na China (HU *et al.,* 2020). Assim, uma das ações de combate ao COVID-19, seria a desinfecção do ar nos ambientes.

A luz ultravioleta existe em um espectro entre 100 nm e 400 nm (sendo que a luz visível está acima de 400 nm), e pode ser originada por fonte natural, que é o sol, ou por fontes artificiais que são as lâmpadas UVs. Dentro da faixa descrita, temos a categorização da luz ultravioleta no espectro eletromagnético em: UV-A, UV-B e UV-C. A faixa de cada categoria compreende valores de comprimento de onda (TRINDADE *et al.,* 2020), como pode ser verificado (Tabela 1):

Tabela 1 - Valores de comprimento de onda UV

UV-A	de 315 nm até 400 nm
UV-B	de 280 nm até 315 nm
UV-C	de 100 nm até 280 nm

Fonte: Valores obtidos de TRINDADE et al (2020).

As lâmpadas UV-A e UV-B são utilizadas para bronzeamento artificial e luz negra, e já as lâmpadas UV-C são destacadas por promoverem a ação germicida. Trindade *et al.* (2020), alerta que deve ser evitado a superexposição direta das fontes de UV por elevar o risco de desenvolvimento de problemas na pele e olhos.

As lâmpadas UV tem seu funcionamento semelhante às lâmpadas fluorescentes convencionais, com a diferença de não conter revestimento fosfórico (MATHEUS; CANESIN, 2013), assim os circuitos elétricos para seu funcionamento também são semelhantes aos utilizados em lâmpadas fluorescentes comuns, com o uso de reatores para iniciar o seu funcionamento.

A luz ultravioleta é utilizada há muito tempo para desinfecção em todo o mundo, com seu efeito germicida tendo sido detectado pela primeira vez em 1878 (MOURA *et al.,* 2002). Os fótons energéticos da luz quebram as ligações químicas do material genético do DNA ouRNA dos micro-organismos, inativando-os, matando-os ou ainda incapacitando a reprodução (MOURA *et al.*, 2002).

As lâmpadas germicidas são projetadas para oferecem um alto rendimento de raios UVC na faixa de 253,7 nm (XAVIER *et al.*, s.d.), a qual os microrganismos são excepcionalmente vulneráveis devido ao comprimento de onda máximo de absorção das moléculas de DNA serem de 260 nm (TSENG; LI, 2007).

Assim, lâmpadas UVC são usadas para desinfecção de muitos objetos e ambientes, entre outras aplicações. Ao longo das últimas décadas a desinfecção de águas através da radiação ultravioleta tornou-se amplamente reconhecida e aceita pelas agências reguladoras como um processo de purificação seguro e econômico (MATHEUS; CANESIN, 2013). Takasuka *et al*. (2004), cita a utilização da radiação UV fornecida por lâmpadas para a inativação de coronavírus para a produção de vacinas para SARS-CoV1.

Na utilização de radiação UVC para purificação de água, o processo fotoquímico é responsável por uma baixa geração de subprodutos, portanto com mínimos riscos à saúde, como a formação de formaldeídos e acetaldeídos na desinfecção de águas residuais ou ainda a conversão de nitrato a nitrito em exposição à radiação UV abaixo de 240 nm (MOURA *et al.,* 2002), porém as lâmpadas germicidas geralmente apresentam faixa de trabalho em 254 nm, diminuindo assim esses riscos.

A eficiência da lâmpada vai caindo conforme a quantidade de horas de seu uso, pelo decaimento da potência irradiada, conforme é relatado por Silva *et al.* (2003), que, trabalhando com a pesquisa de utilização de radiação UV em bactérias sobre filmes de polietileno de baixa densidade, observou que após 1500 horas de uso, a intensidade da radiação UV reduziu-se de 288 para 78 $\mu W.cm^{-2}$, e assim também diminui a eficiência da radiação UV na inativação dos microrganismos.

Em relação à quantificação da radiação de uma lâmpada UV para avaliação da atividade germicida, é considerada a dose de radiação emitida, que pode ser expressa como a intensidade de radiação proporcionada pela lâmpada por área irradiada, por um determinado tempo de exposição (MOURA *et al.,* 2002):

$$D = I \times t \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

D = Dose de radiação ultravioleta (W.s/cm^2)

I = Intensidade da radiação (W/cm^2)

t = Tempo de exposição (s)

No caso de aplicações de irradiação UV em volumes de controle, como acontece comos filtros de água que utilizam essa tecnologia, pode ser considerado o emprego da intensidade média no meio em que há a irradiação. Assim, a inativação dos microrganismos pode ser dada pela seguinte equação (MOURA *et al.,* 2002):

$$\ln \frac{N}{N_0} = -K \times I_M \times t \quad \text{Eq. 02}$$

Onde:

N = Concentração de germes após exposição da radiação UV

N_0 = Concentração de germes antes da exposição

K = Coeficiente de letalidade à UV dos microrganismos

I_M = Intensidade média da radiação germicida

2. DESINFECÇÃO DE AR POR UV

O ar contaminado por alguns tipos de patógenos pode promover a transmissão de doenças nos ambientes, sem a devida troca desse ar ou a devida esterilização do mesmo. Xavier *et al.* (s.d.), define esterilização:

> Esterilização é o processo pelo qual os micro-organismos vivos são removidos ou mortos a tal ponto que não seja mais possível detectá-los no meio de cultura padrão no qual previamente haviam proliferado, para um aceitável nível de segurança, reduzindo, assim, o potencial de transmissão de doenças para os profissionais e pacientes [...]. (POSSARI e ALMEIDA, 2001 apud XAVIER et al, s.d.)

Pesquisas mostram a possibilidade de utilização de radiação UVC, com eficácia, no controle de germes no ar, como a pesquisa conduzida por Lin e Li (2002), com a geração de aerossóis por nebulizador contendo Escherichia coli, Bacillus

esporos subtilis, células de Candida famata var. flareri e esporos de Penicillium citrinum em confinamento iluminado com lâmpadas UVC. Cada patógeno necessita de uma exposição energética mínima da radiação UVC para sua inativação.

Lin e Li (2002), deixa a observação na pesquisa de que a umidade relativa do ar pode ter influência no processo, observando-se que as suscetibilidades dos microrganismos ao UVC a 80 % de umidade relativa eram mais baixas do que aquelas encontradas a 50 % de umidade relativa. A influência da umidade relativa também é citada por Tseng e Li (2007), quando pesquisado a esterilização por radiação UVC em superfícies, que observou que a suscetibilidade dos vírus utilizados nos testes, à ação da radiação UVC, foi maior na umidade relativa do ar em 55 % do que a 85 %.

Nebulizadores para simular aerossóis foi utilizado por Van Doremalen et al (2020), para analisar a estabilidade do vírus do SARS-CoV-2 em aerossóis sobre superfícies em comparação ao vírus do SARS-CoV-1. Descobriu-se que a estabilidade do vírus do SARS- CoV-2 foi similar à estabilidade do vírus do SARS-CoV-1 nas superfícies testadas. Os autores ainda concluíram com os resultados, que a transmissão do SARS-CoV-2 por aerossóis era plausível, pois o vírus podia permanecer viável e infeccioso em aerossóis por horas.

Dong *et al.* (2003), mostrou ser possível a destruição da infectividade viral em um nível indetectável do SARS-CoV-1 com irradiação de UVC em cultura. Assim estima-se ser possível também a inativação do SARS-CoV-2 com radiação UVC. Darnell *et al.* (2004), também estuda a utilização de irradiação UV para inativação dos vírus do SARS-CoV-1, usando uma fonte de luz UVC de 4016 μW/cm^2 e uma fonte de luz UVA de 2.133 μW/cm^2, ambas aplicadas a 3 cm de distância de amostras contaminadas. Um gráfico com a comparação da inativação dos vírus por tempo, para cada fonte, pode ser observado a seguir(Figura 1):

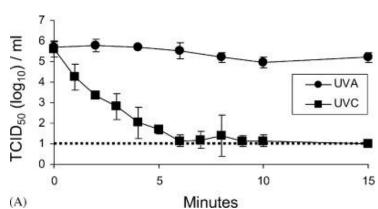



Figura 1 - Gráfico de comparação da inativação de vírus por radiação UVA e UVC

Fonte: DARNELL *et al* (2004)

Um sistema com captação de ar e utilização de lâmpada UVC poderia exercer a ação esterilizante no ar do interior de ambientes, já que a transmissão dos vírus respiratórios (e outros patógenos), pode se dar pela eliminação de gotículas junto ao ar expelido pelas pessoas. O funcionamento do sistema se daria pela sucção do ar, que ficaria levemente retido na parte onde está a lâmpada, pela ação do filtro posterior, e receberia radiação UVC enquanto não passa pelo filtro (Figura 2).

Figura 2 - Esquema simplificado de sistema de esterilização de ar por UVC

A
B
C
D

A - Carvão ativado

B - Rede ou filtro de tecido

C - Lâmpada UV

D - Cooler ou ventilador para imprimir o ar externo na parte interna

Fonte: autores.

Após o ar passar pelo filtro encontra uma camada de carvão ativado que irá agir na absorção de gotículas de saliva remanescentes. O filtro e a camada de carvão ativado recebem a luz UVC e assim estariam constantemente sendo desinfectados.

3. MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL

Foi idealizado um projeto de dispositivo para o tratamento do ar ambiente por radiação UVC com a utilização de uma lâmpada fluorescente tubular germicida de radiação UVC com potência nominal de 15 W, dentro de uma tubulação em PVC, devido ao formato da lâmpada, como confinamento do dispositivo, no qual seria insuflado ar do ambiente externo. O dispositivo também integrava um captador de ar com ventilação no duto de entrada e saída superior do ar tratado, com difusor de ar com suporte para manta filtrante (Figura 3 a). A montagem do dispositivo foi feita de forma que o mesmo pudesse trabalhar no sentindo de captar o ar que estivesse abaixo e, após passagem pela parte interna do duto irradiador de UVC, pudesse ser elevado para a saída no difusor (na parte superior), que ainda estaria retendo possíveis gotículas de saliva presentes no ar pela ação de uma manta filtrante de carvão ativado em seu interior. A parte elétrica ficou externa à montagem do conjunto (Figura 3 b).

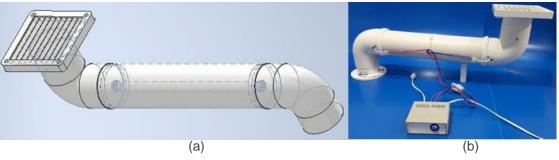



Figura 3 - Desenho do projeto do dispositivo montado

(a) (b)

Fonte: autores.

Alguns dados que apresentam alguma importância aos ensaios, relativos aos componentes utilizados na montagem do dispositivo, são relacionados a seguir (Tabela 2):

Tabela 2 - Informações sobre os componentes da montagem

Potência nominal da lâmpada UV germicida	15	W
Potência para a faixa entre 200 e 280 nm	4	W
Diâmetro da lâmpada	26	mm
Comprimento da lâmpada	436	mm
Vazão do ventilador	134	m^3/h
Diâmetro do Tubo	100	mm

Fonte: autores.

Com os dados relacionados anteriormente, foi feita a realização de alguns cálculos que caracterizam o funcionamento do dispositivo trabalhando na irradiação UVC do ar (Tabela 3):

Tabela 3 - Valores calculados do dispositivo em funcionamento

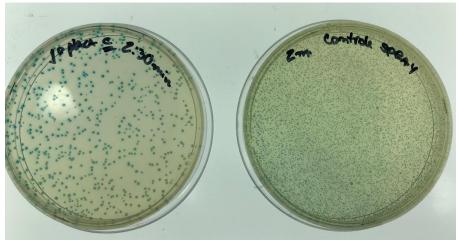
Área superficial média irradiada por UVC	862,9327	cm^2
Intensidade média da radiação UVC	4635,356	$\mu W/cm^2$
Volume do ar irradiado por UVC	3192,851	cm^3
Velocidade do ar na entrada	508,2883	cm/s

Fonte: autores.

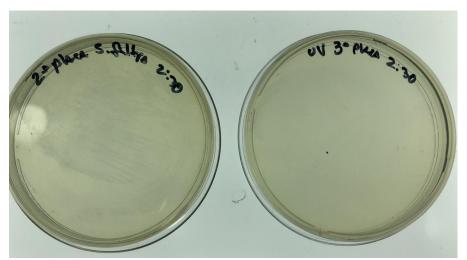
Para a realização dos ensaios biológicos foi optado pela utilização de bactérias, E.colis, muito utilizada nas pesquisas pela segurança proporcionada na realização dos ensaios em laboratório. A dose de inativação dessas bactérias é indicada por Xavier *et al.* (s.d.), como sendo de 7000 $\mu watt/s.cm^2$. As bactérias estariam em solução aquosa e seriam aspergidas através da injeção de spray na entrada de ar no sistema em operação.

4. REALIZAÇÃO DO ENSAIO E RESULTADOS

Inicialmente, sob fluxo laminar isolado e estéril, o dispositivo para tratamento do ar foi acionado, sendo previamente retirados os elementos filtrantes (operação sem filtro), e sem o funcionamento da lâmpada germicida (sem UVC), somente então, o dispositivo realizando a insuflação do ar externo para passagem pelos seus dutos internos e posterior saída, como condição de controle para os ensaios subsequentes. E.colis capazes de processar substrato de X-gal por alpha complementação foram então dispersadas na entrada de ar por efeito aerossol a cada 30 segundos. Placas de LB/Ampicilina foram então ajustadas na saída do protótipo por um período de 2 h 30 min. A saída do ar coletado em placa foi comparado com a aplicação direta do spray em outra placa (Figura 4).

Figura 4 – Placas: ensaio sem filtro e UVC (esquerda) e aplicação de spray direto (direita)

Fonte: autores.

Posteriormente foi realizado um ensaio nas mesmas condições descritas anteriormente, porém, agora com o funcionamento da lâmpada germicida, mas ainda sem a ação dos elementos filtrantes de manta de carvão ativado, que foram colocados no dispositivo no ensaio seguinte que estaria testando o funcionamento do dispositivo completo, funcionando com a ação da lâmpada germicida e do filtro na saída de ar. Na comparação das placas utilizadas em ambos os ensaios, pode ser observado a eliminação das colônias de bactérias a um nível visual, tanto com a utilização de UVC e filtro, quanto na utilização de radiação UVC somente (Figura 5).

Figura 5 - Placas: utilização de UVC sem filtro (esquerda) e UVC com filtro (direita)

Fonte: autores.

Somente na situação de controle, uma média de 2200 colônias puderam ser observadas, nas demais condições as placas se mostraram estéreis por 30 horas.

Esse ensaio visou analisar o particulado líquido, uma vez que a colônia de E.coli foi crescida até a fase estacionária em meio LB líquido e então dispersada por aerossol nessa forma. Os ensaios foram feitos em triplicata.

5. CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com bactérias E.colis mostraram que o dispositivo proporcionou uma visível taxa de inativação das colônias aspergidas no duto, tanto nas condições de utilização de UVC combinado com elemento filtrante, quanto na utilização somente do UVC. Como o que foi mencionado no artigo em relação às pesquisas sobre Sars-Cov1 e o comportamento parecido do Sars-Cov2 em relação à radiação UVC em superfície, e considerando as pesquisas que indicam a necessidade de uma intensidade de radiação UVC, para inativação do Sars-Cov1, menor do que a necessária para inativação de E.colis, suspeita-se que o sistema poderia realizar a inativação do Sars-Cov2 em gotículas presentes no ar.

REFERÊNCIAS

DARNELL, Miriam ER *et al.* Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. **Journal of virological methods**, v. 121, n. 1, p. 85-91, 2004.

DONG, Xiao-Ping *et al.* Stability of SARS coronavirus in human specimens and environment and its sensitivity to heating and UV irradiation. 2003.

HU, Maogui *et al.* The risk of COVID-19 transmission in train passengers: an epidemiological and modelling study. **Clinical Infectious Diseases**, 2020.

LIN, Chia-Yu; LI, Chih-Shan. Control effectiveness of ultraviolet germicidal irradiation onbioaerosols. **Aerosol science and technology**, v. 36, n. 4, p. 474-478, 2002.

MATHEUS, Bruno P.; DE BRITO, Moacyr AG; CANESIN, Carlos A. Modelagem de lâmpada fluorescente UV em uma aplicação para fins de purificação de água. **Power Electronic-SOBRAEP**, v. 18, n. 2, p. 946-953, 2013.

MOURA, ALEX *et al.* Avaliação do emprego da radiação ultravioleta na desinfecção de águas com turbidez e cor moderadas. 2002.

SILVA, Cleuber Antonio de Sá *et al.* Evaluation of ultraviolet radiation to control microorganisms adhering to low-density polyethylene films. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 34, n. 2, p. 175-178, 2003.

TAKASUKA, Naomi *et al.* A subcutaneously injected UV-inactivated SARS coronavirus vaccine elicits systemic humoral immunity in mice. **International immunology**, v. 16, n. 10, p. 1423-1430, 2004.

TRINDADE, Neilo Marcos et al. Thermoluminescence of UV-irradiated α-Al2O3: C, Mg. **Journal of Luminescence**, p. 117195, 2020.

TSENG, Chun-Chieh; LI, Chih-Shan. Inactivation of viruses on surfaces by ultraviolet germicidal irradiation. **Journal of occupational and environmental hygiene**, v. 4, n. 6, p. 400-405, 2007.

VAN DOREMALEN, Neeltje et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. **New England Journal of Medicine**, v. 382, n. 16, p. 1564- 1567, 2020. Artigo traduzido pelo programa de tradução de artigos da Universidade Federaldo Paraná - UFPR, por: André Jardim Domingues e Lara Frangiotto Lopes

XAVIER, Kátia C. R.; SCHMIDT, Erik M. M.; LIMA, Carlos J. Desenvolvimento de um sistema de esterilização utilizando radiação ultravioleta c para aplicações hospitalares. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, s.d.

CAPÍTULO 21

AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE PESTICIDAS EM ÁGUAS DE FONTES SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ, PARANÁ

Daniel Mantovani
Pós doutor em Engenharia Urbana
Instituição: Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional
Endereço: Av. Paranavaí, 1164 - Parque Industrial Bandeirantes, Maringá, PR
E-mail: daniel26mantovani@gmail.com

Luis Fernando Cusioli
Doutorando no programa de pós-graduação em Engenharia Química
Universidade Estadual de Maringá, Câmpus Maringá
Av. Colombo, 5790 - Jd. Universitário, Maringá, Paraná, Brasil, CEP 87020-900
E-mail: luiscusioli@gmail.com

Driano Rezende
Doutor em Engenharia Quimica
Driano Rondonia Atual: Avenida Machadinho, 4349, Área de Expansão Urbana (Setor 06), Ariquemes - RO
CEP: 76873-630
E-mail:drirezend@gmail.com

Gabriel Xavier Jorge
Engenheiro Civil
Instituição: Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional – FEITEP
Endereço: Av. Paranavaí, 1164 - Parque Industrial Bandeirantes, Maringá - PR
E-mail: gabrielxavierjorge@gmail.com

RESUMO: Os recursos hídricos subterrâneos estão sob a ameaça da poluição, especialmente pelo uso inadequado da terra por meio de atividades antrópicas. Entre os principais contaminantes que podem constituir um risco a saúde humana estão os contaminantes químicos, como os pesticidas. Assim, no presente trabalho avaliou-se a presença de pesticidas em diferentes fontes de água subterrânea do munícipio de Maringá-Pr. As fontes de água subterrâneas avaliadas foram selecionadas a partir de poços cadastrados, com outorga de uso no Instituto das Águas do Paraná, além da análise dos pesticidas também foram avaliados outros parâmetros físico-químicos, como turbidez, cor e pH. Foram avaliados 18poços de coleta de água subterrânea, os valores dos parâmetros de qualidade analisados permaneceram na faixa de 0,5a 1,8 NTU, para turbidez, entre 1,3 a 5 uH para cor e entre 6,5 a 9,5 para o pH. Para os valores referentes as análises dos pesticidas: atrazina e diuron, resultou em concentrações inferiores a 0,05 mg L^{-1} e 0,03 mg L^{-1}, respectivamente, bem abaixo do limite estabelecido pela Portaria 2914. Os resultados obtidos referentes aos parâmetros de qualidade das águas dos poços subterrâneos estudados neste trabalho enquadram-se dentro dos limites estabelecidos pela Portaria2914, do Ministério da Saúde.

PALAVRAS-CHAVE: Pesticidas; Água subterrânea; Qualidade da água.

1. INTRODUÇÃO

A presença da água gera vida e atividades econômicas, e para nossa sobrevivência ela é indispensável para os ecossistemas da natureza (ALONSO, 2007). A água é tratada como um recurso abundante, porém limitada encontrada em variados lugares a qual possui distintas finalidades como uso doméstico, agricultura e industrial. Já na atualidade o aumento da urbanização e a degradação desordenada das águas superficiais contribuem de forma negativa para a expansão da agricultura, desenvolvimento estratégico das cidades.

Entretanto, o manancial subterrâneo é um dos recursos naturais imprescindíveis para a vida e integridade dos ecossistemas e representa mais de 95% da água doce explorável no globo terrestre. Mais da metade da população mundial depende da água subterrânea para abastecimento público e desenvolvimento humano (DI BERNARDO; PAZ, 2009).

As águas subterrâneas são caracterizadas por estarem presentes em espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras (rachaduras, quebras, descontinuidades e espaços vazios). A capacidade do recurso em ser armazenado em grandes volumes no subsolo, recebe o nome de sistema aquífero (LEINZ, 2003). Apesar das águas subterrâneas não estarem expostas ao ambiente, como é o caso dos rios e lagos, elas não estão livres de contaminações, que podem ser de origem natural ou antropogênica.

As características da água destinada para o consumo humano são estabelecidas por um órgão regulamentador, conforme critérios legais definidos em cada federação. Por isso, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda critérios máximos e mínimos para fins potáveis (WHO 2011). No Brasil esses critérios são estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Mesmo com os esforços para manter as águas de consumo humano com boa qualidade, ela vem apresentando níveis insatisfatórios. As águas subterrâneas são um bem de consumo econômico mundialmente necessário para sobrevivência da espécie humana. Os aquíferos estão sujeitos a contaminações, uma vez contaminados ou poluídos, demandam elevados investimentos para a sua remediação (CHILTON; CHORUS, 2006). Devido às atividades agrícolas e industriais, substâncias presentes no solo são consideradas uma das principais causas de contaminação da

água subterrânea, tendo como exemplo o uso de pesticidas, que são constituídos por um largo espectro de compostos químicos.

A alta contaminação dos lençóis freáticos bem como, a água subterrânea proporciona enormes prejuízos e perdas econômicas no mundo todo. Segundo Seda no (2008), em média cerca de 10 mihões de pessoas morrem anualmente por motivos de doenças transmitidas por meios de águas poluídas dos mais diversos compostos sejam químicos, microbiológicos e físicos (metais, madeira entre outros). Já no Brasil, os principais contaminantes responsáveis por doenças diversas são a diarreia, *vibriocholerae*, malária, traços de pesticidas, metais pesados entre outros agentes de contaminação.

Entretanto, os pesticidas utilizados na atividade agrícola para controlar e prevenir insetos, doenças de plantas e animais, combater ervas invasoras de culturas e pastagens durante muitos anos foram negligenciados ou considerados de baixa relevância. Porém, sabe-se que essas substâncias não são biodegradáveis, e devido ao seu efeito de acumulação, podem atingir concentrações superiores à dose letal de alguns organismos, como invertebrados e peixes, levando à ocorrência de morte, além dos efeitos cancerígenos, mutagênicos e teratogênicos (eventualmente observados em humanos expostos cronicamente) como resultado da bioacumulação ao longo da cadeia alimentar. Os resíduos provenientes de pesticidas em água potável podem aumentar os riscos de ocorrência de câncer, bem como causar danos aos sistemas nervoso, cardíaco, endócrino e reprodutivo (RICCARDI, 2008).

Entre os pesticidas que potencialmente agridem a população e o meio ambiente, estão a atrazina (ATZ) e o diuron, são tóxicos e seus principais danos à saúde humana são desregulador hormonal e agente carcinogênico. A atrazina e o diuron têm sido frequentemente detectados em água superficial e subterrânea no Brasil, Canadá, Europa, Estados Unidos e Dinamarca. Além disso, estes dois pesticidas estão entre os 33 poluentes prioritários na Europa, devido à sua toxicidade e persistência ambiental (EPA 2003; CERDEIRA *et al.,* 2005; MADSEN; SOGAARD, 2014).

A atrazina (6-cloro-N-etil-N-1-metil-etil-1,3,5-triazina-2,4-diamina) é um herbicida de triazina amplamente utilizado para controlar ervas daninhas. Seu uso intensivo contribui para detecção de níveis elevados no meio ambiente e é frequentemente detectada em águas superficiais e subterrâneas no Brasil, Canadá, Europa e Estados Unidos (CERDEIRA *et al.*, 2004). Os limites máximos de ATZ na

água para consumo humano são 2µ L-1 no Brasil, 3µ L^{-1} nos Estados Unidos e0,1µ L^{-1} na Europa (BRASIL, 2011; USEPA, 2012).

O diuron, [3-(3,4-diclorofenil) -1,1-dimetiluréia], pertence ao grupo químico das feniluréias e é recomendado para aplicação em diversas culturas, como a de cana-de-açúcar, sendo um dos principais herbicidas recomendados nos vários estágios dessa cultura no Brasil (SILVA *et al.,* 2009).

Segundo Chen e Young (2009), o diuron é um dos herbicidas mais usados na Califórnia (EUA) e tem sido freqüentemente detectado nas águas de abastecimento. O limite máximo permitido de resíduosde diuron em água para consumo humano no Brasil é de 90 µg L^{-1}, no Canadá de 150 µg L^{-1}.

Sendo assim, a avaliação da qualidade das águas subterrâneas é essencial para detectar tendências das concentrações de poluentes, determinar o impacto de contaminações de atividades antrópicas e correlacionar possíveis fontes do contaminante. No presente estudo, foi realizado o monitoramento de poços de água subterrânea da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Borba Gato (BHBG), quanto a presença dos pesticidas atrazina e diuron, e quanto aos parâmetros de cor, pH e turbidez.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo foi a BHBG, localizada no norte do Estado do Paraná, pertencente ao território do município de Maringá.

A cidade de Maringá possui uma estimativa de 403.063 habitantes (IBGE 2016), com área de 489,76 km², e altitudes variando entre 360 a 600 metros (acima do nível do mar) com padrão de drenagem superficial dendrítico. Caracteriza-se por pertencer à área de abrangência dos basaltos originados por derrames basálticos da Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento, capeados a Oeste pelos arenitos da Formação Caiuá, Grupo Bauru, e está em um divisor de águas entre as bacias hidrográficas do rio Ivaí e rio Pirapó (ROSA-FILHO; ROSTIROLLA, 2005; SOUZA *et al.*, 2010).

A Figura 1 apresenta os pontos de transição dos aquíferos localizados no município de Maringá-PR.

Figura 1 –: Localização de Maringá no estado do Paraná e transição do Aquífero Serra Geral Norte e Aquífero Caiuá no município.

Fonte: Instituto das Águas, 2010.

A realização de coletas para obter informações foi desenvolvida a partir dos locais e pontos necessários para diagnosticar a qualidade da água e possíveis medidas de tratamento caso seja necessário.

2.2. Análises cromatográfica dos pesticidas e físico-química da água

Após a coleta das amostras de água subterrânea as mesmas foram analisadas porcromatografia líquida. Vários fatores caracterizam o estado físico-químico da água subterrânea, entre eles foram analisados os parâmetros de cor, pH e turbidez.

A análise envolvendo a cromatografia líquida foi utilizada para quantificação dos pesticidas: diuron e atrazina, o equipamento é composto por bomba quaternária (Shimadzu, modelo LC-10ADVP), controlador de sistema (Shimadzu, modelo SCL-10AVP), detector Uv-Vis (Shimadzu, modelo SPD-10AV) monitorado nas regiões 222 e 247 nm, equipado com injetor manual Rheodyne volume de injeção de 10 µL,

degaseificador (Shimadzu, modelo DGU-14A) e software ShimadzuCLASS-VP® Release (Versão 6.14 SP1). A análise foi conduzida utilizando como fase móvel A:água ultrapura proporção de água 35% e B: acetonitrila 65% com vazão constante ao longo dacorrida com 0,75 mL min^{-1} e coluna (ODS Hypersil, 5 μm, 4,6 x 250 mm) com fase móvel etemperatura de coluna em forno (Shimadzu, modelo CTO-10AS) a 35 ºC (BORTOLUZZI *et al.,* 2007).

Cor é resultado da presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão na água. Normalmente é originada por ácidos húmicos e tanino, pela decomposição de vegetais ou fontes antrópicas, pela presença de íons metálicos naturais como o ferro e o manganês e por diversos efluentes industriais (CRITTENDEN et al., 2012). A Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Portaria do Ministério da Saúde (MS) recomendam como parâmetros para potabilidade da água valor de no máximo 15 uH. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro Hach DR 2010, método 8025, programa 120, comprimento de onda de 455 nm (APHA, 1998).

Turbidez é a presença de sólidos em suspensão. Essas partículas podem ser de origemin orgânica como a areia, silte e argila, bem como de origem orgânica, como as algas e bactérias, plânctons, entre outros. Conforme OMS e Portaria do MS, o valor máximo de turbidez recomendado para potabilidade da água é de 5 uT. As leituras foram realizadas em turbidímetro portátil Hach, modelo 2100 P (APHA, 1998).

O pH representa a concentração de íons hidrogênio, indicativo sobre a condição de acidez ($pH < 7$), neutralidade ($pH= 7$) ou alcalinidade da água ($pH > 7$). De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde, o valor do pH da água para consumo humano deve estar entre 6,0 a 9,5.

Já a OMS é mais restritiva, estabelece valores entre 6,5 a 8,5. As leituras foram realizadas por meio do pHmetro digimed DM-2 (APHA, 1998).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os poços de água subterrânea monitorados estão apresentados na Tabela 1. Os poços foram selecionados de acordo o georreferenciamento utilizando o GPS, Garmin, modelo eTrex 30conforme demarcações e área abrangendo a Bacia do Ribeirão Borba Gato, realizadas em propriedades privadas mediante a acessibilidade dos proprietários.

Tabela 1 – Identificação dos poços selecionados para a pesquisa.

Poço (P)	Outorga de uso?	Coordenadas geográficas		Área	Vazão (m³ h⁻¹)
1	Sim	23º 28' 21" S	51º 58' 5" O	Rural	13
2	Não	23º 28' 3" S	51º 57' 30" O	Rural	-
3	Sim	23º 28' 59" S	51º 56' 49" O	Rural	5
4	Não	23º 28' 16" S	51º 58' 52" O	Rural	-
5	Não	23º 27" 40" S	51º 56' 55" O	Rural	-
6	Sim	23º 27' 18" S	51º 58' 39" O	Industrial	5
7	Não	23º 27' 23" S	51º 58' 28" O	Industrial	
8	Sim	23º 26' 36" S	51º 58' 53" O	Industrial	3
9	Sim	23º 27' 6" S	51º 59' 11" O	Industrial	3
10	Não	23º 27' 25" S	51º 57' 48" O	Industrial	-
11	Sim	23º 27' 36" S	51º 59' 31" O	Industrial	9
12	Não	23º 27' 29" S	51º 57' 19" O	Industrial	-
13	Não	23º 26' 21" S	51º 57' 58" O	Urbana	-
14	Sim	23º 26' 4" S	51º 58' 17" O	Urbana	2,5
15	Não	23º 26' 24" S	51º 57' 56" O	Urbana	
16	Sim	23º 26' 11" S	51º 57' 50" O	Urbana	2,5
17	Sim	23º 25' 36" S	51º 57' 58" O	Urbana	2,5
18	Não	23º 25' 52" S	51º 57' 45" O	Urbana	-

- não foram fornecidos dados de vazão.

Os poços de água subterrânea foram selecionados nas áreas rural, industrial e urbana, com a seguinte distribuição: 5 poços na área rural, 7 poços na área industrial e 6 poços na área urbana com o objetivo de analisar se as atividades desenvolvidas no local influenciariam na qualidade da água subterrânea analisada. Na Tabela 2, seguem os valores dos parâmetros físico-químicos e de pesticidas da avaliação/monitoramento dos poços de coleta de água subterrânea. Foram feitas 6 medidas em cada poço de água subterrânea, no período de 12 meses, os valores apresentados são referentes a média aritmética de cada parâmetro analisado.

Tabela 2 – Análise das análises físico-químicas e pesticidas.

Novo	Atrazina (mg L⁻¹)	Diuron (mg L⁻¹)	pH	Turb. (NTU)	Cor (uH)
P1	0,01	0,01	7,4	1,0	1,3
P2	0,05	0,03	6,5	0,6	2,3
P3	0,0257	0,0162	9,5	0,6	2,7
P4	0,01	0,01	6,8	0,6	1,5
P5	0,01	0,01	7,3	0,8	2,0
P6	0,01	0,01	9,4	0,5	2,3
P7	0,0333	0,01	7,1	0,5	2,3
Novo	**Atrazina (mg L⁻¹)**	**Diuron (mg L⁻¹)**	**pH**	**Turb. (NTU)**	**Cor (uH)**
P8	0,03	0,01	6,5	1,2	2,0
P9	0,0367	0,01	6,5	1,1	3,3
P10	0,01	0,01	7,9	1,0	1,5

P11	0,01	0,0267	9,1	1,1	2,5
P12	0,01	0,01	6,5	0,6	3,3
P13	0,01	0,01	6,7	0,6	5,0
P14	0,0243	0,0133	6,9	1,1	2,8
P15	0,01	0,01	7,3	1,8	4,2
P15	0,05	0,01	7,4	1,3	3,3
P16	0,01	0,01	8,6	0,6	3,2
P17	0,03	0,0167	6,8	1,5	4,1
P18	0,01	0,01	7,0	0,8	2,3

Conforme observado na Tabela 2, os parâmetros analisados pH, turbidez, cor, atrazina ediurion não excederam os valores recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e Portaria 2914/2011. Os pesticidas atrazina e diuron apresentaram baixa concentração, evidenciando que a atividade antrópica existente na região não influenciou os resultados apresentados. Os valores de concentração de atrazina variaram entre 0,01 e 0,05 mg L^{-1} e diuron 0,01 a 0,03 mg L^{-1}. Os parâmetros de pH, cor e turbidez também permaneceram dentro dos limites desejáveis, de acordo com as normas vigentes. Para turbidez uma variação de 0,5 a 1,8 NTU, cor de 1,3 a 5 uH e pH de6,5 a 9,5.

Monte-Blanco (2017) em seu estudo de monitoramento de águas subterrâneas do Aquífero Serra Geral (Toledo-Pr), obteve resultados semelhantes, onde os pesticidas atrazina e diuron também foram identificados em baixas concentrações. Entretanto, Paraíba *et al.* (2003) ao estudarem a contaminação em águas subterrâneas como a atrazina e diuron, atribuíram ao potencial de lixiviação que o solo tropical exerce em determinadas regiões brasileiras, elevando a concentração dos pesticidas a partir de altos índices pluviométricos. E para os parâmetros de pH, cor e turbidez permaneceram dentro dos limites permitidos pela legislação vigente.

Os monitoramentos dos poços de água subterrâneas do presente estudo mostrou que os parâmetros analisados apresentam o mesmo comportamento para as regiões (rural, industrial e urbana), as atividades de cada região não influenciaram na qualidade da água. Observou-se também que a vazão dos poços e o uso ou não de outorga não influenciaram na qualidade das águas subterrâneas.

4. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que as águas coletadas na bacia hidrográfica do Ribeirão Borba Gato dos 18 poços de água subterrânea, nas regiões rural, industrial e urbana apresentaram resultados satisfatórios, com águas de qualidade quanto aos parâmetros de cor, pH, turbidez e da presença dos pesticidas atrazina e diuron, as atividades realizadas na região de estudo (atividades antrópicas) não influenciaram a qualidade da água.

O presente trabalho foi de grande importância, pois possibilitou avaliar a qualidade das águas subterrâneas da região de Maringá, mostrando que em relação aos parâmetros analisados, a água subterrânea está dentro dos padrões de potabilidade exigido pela Portaria Nº 2914 do Ministério da Saúde e Organização Mundial de Saúde.

REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. Rebaixamento temporário de aquíferos. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

APHA, AWWA. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22th edition, American Public Health Association, DC, 1998.

BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER, S. D.; GONÇALVES, S. C.; PELLEGRINI, R. B. J.; MARONEZE, M. A.; KURZ, S. H. M.; BACAR, M. N.; ZANELLA, R. Investigation of the occurrence of pesticide residues in rural wells and surface water following application to tobacco. Química Nova, v.30, n. 8, p. 1872-1876, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria no 2914, 12 de dezembro de 2011.
CERDEIRA, A. L.; SANTOS, G. A N.; PESSOA, Y. P. C. M.; GOMES, F. A. M.; LANCHOTE, L. V. Herbicide leaching on a recharge area of the Guarany aquifer in Brazil. Journal of Environmental Science and Health, Part B, v. 40, n. 1, p. 159-165, 2005.

CHEN, W.; YOUNG, T. M. NDMA formation during chlorination and chloramination of aqueous diuron solutions. Environmental science & technology, v. 42, n. 4, p. 1072-1077, 2008.

CHILTON, J.; CHORUS, I. Protecting Groundwater for Health. 2006.
CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; HAND, W. D.; HOWE, J. K.; TCHOBANOGLOUS, G.MWH's water treatment: principles and design. 3 Ed. John Wiley & Sons, 2012.

DI BERNARDO, L. e PAZ, L. P. S. Seleção de tecnologias de tratamento de Água. Ed. LDiBe, v.1, São Carlos, SP, 2009.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets- Atrazine Background. Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets - Atrazine Background.2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em<: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm>. Acessado em: 21 Jul 2016.

LEINZ, V. A., S. E. Geologia Geral. Editora Companhia Nacional, São Paulo, SP, 2003.

MADSEN, H. T.; SOGAARD, E. G. Applicability and modelling of nanofiltration and reverse osmosis for remediation of groundwater polluted with pesticides and pesticide transformation products. Separation and Purification Technology, v. 125, p. 111-119, 2014.

MONTE BLACO, S. P. D. Monitoramento de Águas Subterrâneas do Aquífero Serra Geral e Avaliação do Processo de Adsorção para Remoção de Contaminantes. Tese (Doutorado) -Universidade Estadual de Maringá, UEM, 2017.

SOBRE O ORGANIZADOR

Edilson Antonio Catapan: Doutor e Mestre em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2005 e 2001), Especialista em Gestão de Concessionárias de Energia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná - UFPR (1997), Especialista em Engenharia Econômica pela Faculdade de Administração e Economia - FAE (1987) e Graduado em Administração pela Universidade Positivo (1984). Foi Executivo de Finanças por 33 anos (1980 a 2013) da Companhia Paranaense de Energia - COPEL/PR. Atuou como Coordenador do Curso de Administração da Faculdade da Indústria da Federação das Indústrias do Paraná - FIEP e Coordenador de Cursos de Pós-Graduação da FIEP. Foi Professor da UTFPR (CEFET/PR) de 1986 a 1998 e da PUCPR entre 1999 a 2008. Membro do Conselho Editorial da Revista Espaço e Energia, avaliador de Artigos do Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP e do Congresso Nacional de Excelência em Gestão - CNEG. Também atua como Editor Chefe das seguintes Revistas Acadêmicas: Brazilian Journal of Development, Brazilian Applied Science Review e Brazilian Journal of Health Review.